



TESIS - RE142541

**ANALISIS RISIKO DAN OPTIMASI  
KINERJA IPAL RUMAH SAKIT  
MENGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)**

**ARIA SUPARMADJA  
3313201007**

**DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc**

**PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



THESIS - RE142541

**RISK ANALYSIS AND OPTIMIZATION  
PERFORMANCE WASTEWATER TRATMENT OF HOSPITAL  
USING *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA) METHOD**

**ARIA SUPARMADJA  
3313201007**

**SUPERVISOR  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc**

**POST GRADUATE  
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015**

# ANALISIS RISIKO DAN OPTIMASI KINERJA IPAL RUMAH SAKIT MENGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

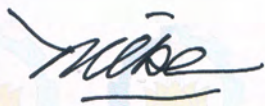
Aria Suparmadja

3313 201 007

Tanggal Ujian : 6 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui Oleh :



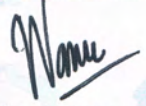
1. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc  
NIP. 19550128 198503 2 001

(Pembimbing)



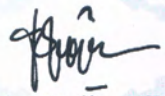
2. Ir. Mas Agus Mardyanto, M.Eng, PhD  
NIP. 19620816 199003 1 004

(Penguji)




3. IDAA Warmadewanthi, ST, MT, PhD  
NIP. 19750212 199903 2 001

(Penguji)



4. Bieby Voijsant Tangahu, ST, MT, PhD  
NIP. 19710818 199703 2 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,  
  
Prof. Dr. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP. 19640405 199002 1 001

**ANALISIS RISIKO DAN OPTIMASI  
KINERJA IPAL RUMAH SAKIT  
MENGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)**

Nama Mahasiswa : Aria Suparmadja  
NRP : 3313201007  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

**URAIAN SINGKAT**

Kegiatan operasional rumah sakit berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. IPAL merupakan unit vital untuk mengurangi pencemaran lingkungan terutama terhadap badan air. Data analisa limbah pada tahun 2011 sampai 2013 sering melebihi baku mutu, konsentrasi COD mencapai 108,9 mg/l, NH<sub>3</sub> Bebas 0,54 mg/l, Phosphat 35,8 mg/l. Penurunan kinerja IPAL selain dipengaruhi karena adanya perubahan sistem yang tidak sesuai dengan desain, kinerja operator, dan kondisi mesin, merupakan faktor pemicu terjadinya penurunan kinerja IPAL.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi-potensi risiko yang signifikan terhadap penurunan kinerja IPAL. Variable yang digunakan meliputi aspek Sumber Daya Manusia (SDM), Mesin atau peralatan, dan Proses IPAL. Setiap proses IPAL akan dianalisis menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) hingga ditemukan faktor risiko yang potensial. Risiko tersebut kemudian dicari akar penyebab masalahnya menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), serta dihitung nilai probabilitas dan konsekuensinya untuk menentukan kategori pada matrik risiko.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama buruknya kualitas efluen limbah cair disebabkan oleh faktor proses IPAL, dimana nilai MLSS, F/M rasio, *Sludge Age*, dan SVI belum memenuhi kriteria proses. Selain itu Kinerja Operator IPAL yang kurang konsisten juga menjadi penyebab penurunan kualitas efluen IPAL. Optimasi diprioritaskan pada risiko dengan kategori *Severe* dan *High*, yaitu menambah proses sirkulasi lumpur aktif dengan pompa berkapasitas minimal 23 liter/ menit dan melakukan recruitment pegawai untuk posisi operator IPAL.

Kata Kunci : Analisis Risiko, *Fault Tree Analysis*, IPAL, Optimasi

## **ABSTRACT**

*Operational activities of the hospital a potential negative impact on the environment. WWTP is a vital unit to reduce environmental pollution, especially of the water body. Data analysis of wastewater in 2011 through 2013 COD concentration reached 108.9 mg/ l, NH<sub>3</sub>-free 0.54 mg/ l, Phosphate 35.8 mg/ l. WWTP performance degradation besides affected due to changes in the system that are not in accordance with the design, the performance of the operator, and the condition of the engine, the factors triggering the decline in performance of the WWTP.*

*This study was conducted to analyze the potential significant risks to performance degradation WWTP. Variable used include aspects of Human Resources (HR), machine or equipment, and process at WWTP. Each WWTP process will be analyzed using methods Failure Mode Effect Analysis (FMEA) to find potential risk factors. The risks were then searched the root cause of the problem using Fault Tree Analysis (FTA), and calculated value of the probability and consequences to determine the category in the risk matrix.*

*The results showed that the main cause of the poor quality of wastewater effluent caused by factors WWTP process, where the value of MLSS, F/M ratio, Sludge Age, and SVI not meet the process criteria. In addition, performance of WWTP Operator is less consistent also cause a decrease in the WWTP effluent quality. Optimization prioritized on the risk category of Severe and High, which adds to the activated sludge process with a circulation pump with a capacity of at least 23 liters / minute and perform recruitment of employees for positions WWTP operator.*

*Keywords: Risk Analysis, Fault Tree Analysis, WWTP, Optimization*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena hanya dengan berkat dan rahmat-Nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan tesis. Laporan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyusun tesis dan menyelesaikan jenjang strata dua (S2) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan Judul ***"Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja IPAL Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)"***.

Penulisan laporan tesis dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan bimbingan dari pihak-pihak yang terkait dengan pelaksanaan tesis. Oleh karena itu, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, dan saran.
2. Bapak Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.Eng, Ph.D selaku Dosen Wali sekaligus penguji yang telah membuka wawasan penulis dengan memberi masukan.
3. Bapak Ir. Eddy S. Soedjono., Dipl. SE., MSc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Lingkungan yang telah banyak memberi arahan.
4. Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST, MT, Ph.D. selaku Koordinator Tesis.
5. Rekan-rekan di Instalasi Sanitasi RSUD Haji Surabaya yang telah banyak membantu dalam pengumpulan data dan bersedia menjadi responden.
6. Keluarga tercinta yang ada dirumah dirumah serta teman-teman program Magister Teknik Lingkungan angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam pengerjaan laporan tesis.
7. Semua pihak yang telah membantu atas terselesainya laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak guna kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas perhatiannya.

Surabaya, 29 Desember 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>URAIAN SINGKAT</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Ruang Lingkup.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Limbah Cair Rumah Sakit.....	5
2.1.1. Sumber Limbah Cair Rumah Sakit.....	5
2.1.2. Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit.....	6
2.2. Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit.....	7
2.3. Sistem Lumpur Aktif.....	10
2.4. Pengertian Risiko .....	14
2.5. Manajemen Risiko Lingkungan.....	14
2.6. Identifikasi Risiko .....	16
2.7. Analisis Risiko .....	16
2.8. <i>Failure Mode Effect Analysis</i> (FMEA).....	19
2.9. <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	20
2.9.1. Definisi FTA.....	20
2.9.2. Tahapan FTA.....	20
2.9.3. Komponen FTA.....	22
2.9.4. Analisis FTA .....	23
2.10. Optimasi dan Strategi Mitigasi.....	26

<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1. Umum.....	27
3.2. Pelaksanaan Penelitian.....	27
3.2.1. Ide Penelitian.....	27
3.2.2. Studi Pustaka.....	29
3.2.3. Observasi Lapangan.....	29
3.2.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data Sekunder.....	30
3.2.5. Analisis dan Pembahasan.....	30
3.2.5.1. Identifikasi Risiko dengan Metode FMEA.....	30
3.2.5.2. Analisis Risiko Dengan <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)....	32
3.2.5.3. Validasi <i>Fault Tree Analysis</i> .....	33
3.2.6. Evaluasi Risiko.....	33
3.2.6.1. Penentuan Kategori Peringkat Risiko.....	33
3.2.6.2. Optimasi dan Strategi Mitigasi.....	35
3.2.7. Kesimpulan dan Saran.....	35
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
4.1 Penentuan Kriteria Risiko.....	37
4.2 Identifikasi Risiko.....	38
4.3 Fault Tree Analysis (FTA) .....	42
4.3.1. Penentuan Frekuensi dan <i>Likelihood</i> .....	42
4.3.2. Penentuan Probabilitas.....	44
4.3.3. Penentuan <i>Consequence</i> .....	53
4.3.4. Pemetaan Risiko .....	57
4.4 Optimasi dan Strategi Mitigasi.....	60
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran.....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit di Provinsi Jawa Timur.....6
Tabel 2.2	Hasil Analisa Laboratorium Eksternal.....8
Tabel 2.3	Kriteria Perencanaan Proses Lumpur Aktif.....11
Tabel 2.4	Kategori dan Interval Nilai <i>Likelihood</i> .....17
Tabel 2.5	Kategori dan Interval Nilai <i>Consequence</i> .....17
Tabel 2.6	Matrik Kategori Tingkatan Risiko.....18
Tabel 2.7	Simbol <i>Events</i> .....22
Tabel 2.8	Simbol <i>Gates</i> .....23
Tabel 3.1	Peta Kategori Tingkatan Risiko.....34
Tabel 3.2	Kriteria Nilai <i>Likelihood</i> atau <i>Probability</i> .....34
Tabel 3.3	Kriteria Nilai <i>Consequence</i> .....35
Tabel 4.1	Efisiensi Kinerja Setiap Unit Pengolahan.....41
Tabel 4.2	Range Penilaian Frekuensi Proses dan Frekuensi Kejadian.....43
Tabel 4.3	Kategori dan Interval Nilai <i>Likelihood</i> .....44
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan probabilitas Faktor SDM.....47
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan probabilitas Faktor Mesin atau Peralatan.....49
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan probabilitas Faktor Proses.....51
Tabel 4.7	Formula dan Sumber Data Dalam Perhitungan <i>Consequence</i> .....53
Tabel 4.8	Kategori dan Interval Nilai <i>Consequence</i> .....55
Tabel 4.9	Rekapitulasi Penilaian Risiko .....56
Tabel 4.10	Matrik Kategori Risiko Pada Faktor SDM .....57
Tabel 4.11	Matrik Kategori Risiko Pada Faktor Mesin .....58
Tabel 4.12	Matrik Kategori Risiko Pada Faktor Proses .....59
Tabel 4.13	Rekomendasi Tindakan Mitigasi .....65
Tabel 4.14	Rincian Kebutuhan dan Anggaran Biaya Tindakan Optimasi .....66

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram proses IPAL RSU Haji Surabaya.....	7
Gambar 2.2	Bangunan IPAL RSU Haji Surabaya.....	8
Gambar 2.3	Skema Proses Lumpur Aktif Konvensional.....	10
Gambar 2.4	Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> .....	24
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian .....	28
Gambar 3.2	Tahapan Identifikasi Risiko.....	31
Gambar 4.1	<i>Fishbone Diagram</i> Kualitas Efluen IPAL.....	39
Gambar 4.2	Diagram FTA Penurunan Kualitas Efluen IPAL.....	46
Gambar 4.3	Potongan FTA Pada Faktor Sumber Daya Manusia.....	46
Gambar 4.4	Potongan FTA Pada Faktor Mesin atau Peralatan.....	48
Gambar 4.5	Potongan FTA Pada Faktor Proses.....	50

## **LAMPIRAN**

LAMPIRAN A Jadwal Penelitian dan Rencana Anggaran Biaya

LAMPIRAN B Hasil Analisa Laboratorium

LAMPIRAN C Ceklist Pengawasan IPAL

LAMPIRAN D Analisis Beban Kerja Instalasi Sanitasi RSUD Haji Surabaya

LAMPIRAN E Kuisisioner Penentuan Frekuensi Proses dan Kejadian

LAMPIRAN F Data Debit Limbah Lumpur Aktif

LAMPIRAN G Perhitungan Kondisi Eksisting Parameter Operasi IPAL

LAMPIRAN H Perhitungan Optimasi Proses IPAL Lumpur Aktif

LAMPIRAN I Perhitungan Biaya Tindakan Optimasi

LAMPIRAN J Gambar Lay Out Desain IPAL Lumpur Aktif

LAMPIRAN K Foto Penelitian

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Rumah Sakit merupakan unit pelayanan kesehatan dimana kegiatan di dalamnya berpotensi banyak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan bagian terpenting dari suatu kegiatan usaha untuk meminimalisasi dampak pencemaran lingkungan. Kinerja IPAL sangat menentukan kualitas air yang akan dibuang ke lingkungan, (Kawasaki *et al.*, 2011). Kurang optimalnya kinerja IPAL berpotensi tidak terpenuhinya baku mutu yang diatur dalam Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor KEP-58/MENLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi kegiatan Rumah Sakit. Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit merupakan bahan pencemar bagi makhluk hidup sehingga berpotensi merusak lingkungan sekitar terutama bagi biota perairan (Iqbal, 2012). Limbah cair ini mengandung senyawa organik yang cukup tinggi, senyawa kimia, dan bakteri patogen yang berbahaya bagi kesehatan. Limbah cair rumah sakit sebagian besar dihasilkan dari limbah domestik, kegiatan medis, kegiatan laboratorium, dan kegiatan pencucian linen (Sumiyati, 2007).

Untuk mengurangi pencemaran dan agar dapat memenuhi baku mutu tersebut Rumah Sakit Umum (RSU) Haji Surabaya mengolah limbah cair yang dihasilkan dengan IPAL lumpur aktif. Kapasitas pengolahan maksimal yang di desain sebesar 200 m<sup>3</sup>/ hari dengan beban BOD maksimal 0,96 kg BOD<sub>5</sub>/ m<sup>3</sup>.hari (*Manual Operation Sewage Water Treatment Plan*, 1995). Data hasil analisa limbah pada tahun 2011 sampai 2013 didapatkan 80% efluen air limbah tidak memenuhi baku mutu. Konsentrasi COD mencapai 108,9 mg/l, BOD 36,5 mg/l, TSS 31 mg/l, NH<sub>3</sub> Bebas 0,54 mg/l, Phosphat 35,8 mg/l. Sedangkan baku mutu limbah cair bagi kegiatan rumah sakit yaitu konsentrasi COD maksimal 80 mg/l, BOD 30 mg/l, TSS 50 mg/l, NH<sub>3</sub> Bebas 0,1 mg/l, dan Phosphat 2 mg/l.

IPAL RSU Haji Surabaya dibangun pada tahun 1996, konsekuensi dari tuanya bangunan IPAL ini adalah penurunan kinerja unit. Dari pengamatan visual, telah banyak terdapat kerusakan fisik bangunan serta perubahan sistem yang tidak

sesuai dengan desain awal. Kurang optimalnya kinerja IPAL akan beresiko pada buruknya efluen yang dihasilkan. Kurang optimalnya kualitas efluen air limbah dapat disebabkan oleh tingginya beban limbah yang akan diolah, sumber daya manusia yang kurang kompeten, kurangnya perawatan, serta adanya permasalahan teknis pada rangkaian sistem IPAL. Rangkaian proses pengolahan limbah cair secara umum terdiri dari proses fisika, kimia, dan biologi (Reynolds, 1996). Sistem IPAL RSUD Haji Surabaya terdiri dari bak equalisasi, bak lumpur aktif, sedimentasi, klorinasi, dan kolam kontrol. Hingga saat ini belum diketahui secara pasti penyebab menurunnya kualitas efluen air limbah sehingga belum dapat dilakukan tindakan yang tepat untuk mengoptimalkan kualitas efluen air limbah agar memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Optimasi dapat dilakukan ketika akar permasalahan telah teratasi. Akar permasalahan diperoleh melalui proses identifikasi dan analisis risiko. Metode yang sering digunakan dalam identifikasi dan analisis risiko IPAL adalah *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) yang merupakan alat untuk pengembangan proses, produk, atau jasa (Perdana, 2014). Untuk mencapai kondisi yang optimal, risiko yang telah teridentifikasi tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui, mengukur, dan menilai masing-masing elemen faktor penyebab masalah (Apsari, 2014). Banyak metode yang direkomendasikan untuk menganalisis risiko salah satunya yaitu *Fault Tree Analysis* (Clemens, 1993 ; OSHA 3071, 2002 ; Apsari, 2014 ; Syaifuddin, 2014). *Fault Tree Analysis* (FTA) berfungsi untuk menganalisa kegagalan sistem serta untuk mengetahui faktor penyebab risiko dari elemen yang paling kecil (Wulandari, 2011).

Faktor risiko tersebut dihitung dan dinilai dengan mempertimbangkan probabilitas dan konsekuensinya. Penilaian risiko ini penting untuk menentukan kategori risiko berdasarkan matrik risiko (*Australia Standard Guidelines*, 1999) sebagai acuan untuk menentukan prioritas tindakan optimasi yang akan dilakukan. Optimasi kemudian dilakukan sebagai tindakan perbaikan dari prioritas potensi risiko terbesar dengan langkah-langkah strategi mitigasi. Dari permasalahan tersebut, maka analisis risiko dan optimasi kinerja IPAL rumah sakit perlu diangkat dalam penelitian kali ini guna menentukan strategi penanganan permasalahan limbah cair.

## **1.2. Rumusan Masalah**

IPAL lumpur aktif RSU Haji Surabaya belum mampu mengolah limbah cair secara optimal seiring dengan meningkatnya kunjungan pasien dari tahun ke tahun. Hal ini ditandai dengan hasil analisa limbah yang belum memenuhi baku mutu sehingga perlu dilakukan analisa risiko dan optimasi kinerja IPAL tersebut.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis dan memperoleh kategori risiko kualitas efluen limbah cair pada IPAL lumpur aktif.
2. Menentukan tindakan optimasi yang prioritas dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja IPAL Lumpur Aktif RSU Haji Surabaya.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai rekomendasi dan saran perbaikan dalam upaya meminimalkan risiko serta mengoptimalkan kinerja IPAL sehingga menghasilkan kualitas efluen limbah cair yang memenuhi baku mutu. Selain itu juga sebagai masukan kepada manajemen RSU Haji Surabaya untuk menentukan kebijakan terkait upaya pengelolaan lingkungan.

## **1.5. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup pada penelitian ini bertujuan untuk membatasi lingkup penelitian. Adapun lingkup penelitiannya sebagai berikut :

1. Analisis dan optimasi difokuskan pada pengoptimalan kinerja IPAL dan kualitas efluen limbah cair pada IPAL lumpur aktif RSU Haji Surabaya.
2. Analisis risiko menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA).
3. Variabel penelitian akan ditinjau dari faktor Sumber Daya Manusia, Mesin, dan Proses IPAL itu sendiri.
4. Metode optimasi menggunakan strategi mitigasi berdasarkan literatur.
5. Parameter yang akan diuji meliputi *Chemical Oxygen Demand* (COD).
6. Data yang digunakan adalah data sekunder periode Januari 2011 – Desember 2013, dari operasional IPAL lumpur aktif RSU Haji Surabaya.

“Halam ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Limbah Cair Rumah Sakit**

Limbah cair rumah sakit merupakan salah satu pencemar air baku yang mempunyai karakteristik komplek karena dihasilkan dari berbagai macam aktifitas pelayanan medis.

Limbah cair ini selain mengandung senyawa organik yang tinggi, juga terdapat senyawa-senyawa kimia serta bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit (Sumiyati, 2007 ; Prado *et al.*, 2011).

##### **2.1.1. Sumber Limbah Cair Rumah Sakit**

Limbah cair rumah sakit adalah hasil buangan dari seluruh kegiatan rumah sakit, mulai dari kegiatan domestik yaitu buangan dari kamar mandi, dapur, dan laundry sampai dengan kegiatan klinis seperti air bekas pencucian pada ruang operasi, aktifitas laboratorium, radiologi, dan lain-lain (Alamsyah, 2007 ; Akbar, 2010). Limbah cair rumah sakit diklasifikasikan berdasarkan jenisnya menurut sumber dan kegiatan pelayanan pada rumah sakit mulai dari kegiatan medis, non medis, dan kegiatan penunjang lainnya. Jenis dan sumber limbah cair tersebut antara lain :

- a. Limbah Klinis, adalah limbah yang dihasilkan selama pelayanan pasien secara rutin, seperti pada rawat jalan, rawat inap, ruang perawatan intensif, IGD, sampai ruang bedah atau operasi. Limbah ini berbahaya dan mengakibatkan infeksi kuman.
- b. Limbah Patologi, adalah limbah hasil kegiatan dari pelayanan patologi anatomi, limbah ini juga dianggap berisiko tinggi karena merupakan buangan bekas pencucian dari jaringan tubuh manusia.
- c. Limbah Radioaktif, berasal dari unit radiologi yaitu air bekas pencucian film, walaupun limbah ini tidak menimbulkan persoalan pengendalian infeksi di rumah sakit, pembuangannya secara aman juga perlu diatur dengan baik.



- d. Limbah Domestik dan Laundry, berasal dari kamar mandi, kantin, dan kegiatan pencucian linen kotor. Limbah ini mempunyai kandungan deterjen dan surfaktan yang tinggi.

Kualitas dan kuantitas limbah cair rumah sakit sangat dipengaruhi oleh tipe rumah sakit, jumlah tempat tidur, macam-macam pelayanan medis, jumlah kunjungan, serta kegiatan penunjang lainnya.

### 2.1.2. Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit

Limbah rumah sakit mempunyai ciri tersendiri yang berbeda dengan limbah yang dihasilkan oleh unit usaha/ industri lainnya yaitu dalam hal kandungan bahan infeksius dan kandungan bahan organik yang tinggi. Pada umumnya bahan-bahan pencemar ini diukur dengan parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan lain lain (Alamsyah, 2007).

Di Jawa Timur baku mutu limbah cair rumah sakit telah diatur dalam Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri dan Kegiatan Usaha Lainnya, lampirannya pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit Di Provinsi Jawa Timur

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	Beban Maksimum
1	BOD	mg/ l	30	0,0135 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
2	COD	mg/ l	80	0,0360 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
3	TSS	mg/ l	30	0,0135 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
4	NH3 bebas	mg/ l	0,1	0,00004 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
5	Deterjen Anionik	mg/ l	0,5	0,00022 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
6	Phenol	mg/ l	0,01	0,000004 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
7	Phosphat	mg/ l	2	0,0009 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
8	Sisa Khlor Bebas	mg/ l	0,01	0,00022 kg/ tempat tidur terhuni/ hari
9	pH	6 - 9		
10	Mikrobiologi -MPN Kuman Golongan Coli Tinja/ 100 ml air	MPN	4000	-

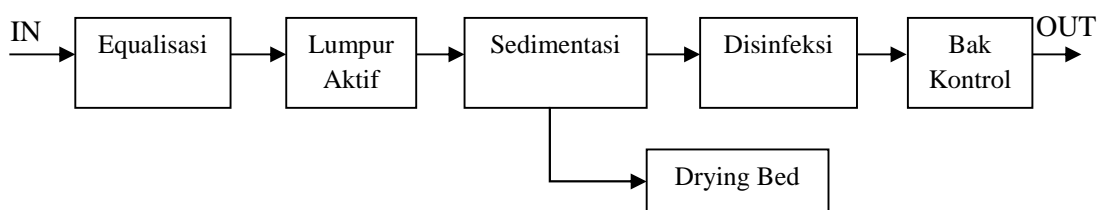
Sumber : Keputusan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013

Kuantitas limbah yang dikeluarkan oleh rumah sakit selalu berfluktuatif tergantung dari jumlah kunjungan pasien dan kegiatan yang dilakukan oleh karyawan. Dengan demikian beban limbah yang masuk pada instalasi pengolahan limbah juga berfluktuatif, hal ini sangat mempengaruhi kinerja IPAL.

## 2.2. Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit

Proses pengolahan limbah cair secara spesifik tergantung dari teknologi yang akan digunakan serta beban limbah yang akan diolah. Secara garis besar, pengolahan limbah terdiri dari beberapa tahap diantaranya pre treatment, primary treatment, secondary treatment, dan sludge treatment (US-EPA, 2004).

Bangunan inti pengolahan limbah RSUD Haji Surabaya terdiri dari bak equalisasi, bak lumpur aktif, bak sedimentasi, disinfeksi, bak kontrol, dan sludge drying bed. Diagram proses pengolahan limbah RSUD Haji Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Proses IPAL RSUD Haji Surabaya

Air limbah yang berasal dari gedung diagnostik, gedung rawat inap, rawat jalan, instalasi gizi (dapur), dan pencucian (*laundry*) dialirkan melalui saluran tertutup menuju bak equalisasi. Dari bak equalisasi air limbah dipompa dan dialirkan menuju bak lumpur aktif menggunakan pompa yang bekerja dengan indikator level sensor. Saat air limbah pada bak equalisasi mencapai level tertinggi, pompa akan menyala dan mengalirkan air limbah ke bak lumpur aktif, dan pada saat air limbah mencapai level terendah pompa akan berhenti, dan begitu seterusnya. Pada bak lumpur aktif air limbah di aerasi dengan waktu tinggal 30 jam. Setelah proses aerasi air limbah dialirkan menuju bak pengendapan, pada bak ini proses pengendapan dibantu menggunakan tube settler. Lumpur aktif akan mengendap dan air limbah hasil olahan keluar melalui tube settler menuju weir

yang akan membawa ke bak kontrol dan keluar untuk disinfeksi dengan larutan kaporit. Injeksi kaporit menggunakan dosing pump yang dikontrol secara otomatis dengan sensor sebelum dibuang ke badan air. Secara keseluruhan bangunan IPAL lumpur aktif RSU Haji Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bangunan IPAL RSU Haji Surabaya

Dalam upaya pemantauan kualitas efluen limbah cair, RSU Haji Surabaya melakukan analisa rutin setiap triwulan yang dilakukan oleh laboratorium bersertifikat KAN. Hasil uji kualitas efluen dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil Analisa Laboratorium Eksternal

Tahun	Bulan	Parameter (mg/ l)								
		pH	BOD	COD	TSS	NH3 - Bebas	Deterjen	Phenol	Sisa Chlor	Phosphat
2011	Jan	7.5	6.8	36.9	3	0.06	0.02	<LD	0.4	<LD
	Apr	7	12.4	28.8	4	0.2	0.23	<LD	<LD	1.7
	Juli	7	10.9	26.8	10	0.23	0.3	<LD	<LD	2.1
	Okt	6	11.4	22.5	8	0.01	0.43	<LD	0.1	2.9
2012	Jan	7	11.89	25.72	11	0.25	0.14	<LD	<LD	0.43
	Apr	7	11.39	24,82	18	0.38	0.24	<LD	<LD	7.2
	Juli	7	47.9	97.86	14	0.043	0.43	<LD	<LD	17.99
	Okt	7.5	17.8	145.8	19	0.02	0.02	<LD	0.3	-
2013	Jan	7.5	11.41	24.41	11	0.83	0.29	<LD	20	14.68
	Apr	7	27.57	64.7	57	0.26	0.3	<LD	0.5	10.84
	Juli	7	36.56	108.92	31	0.54	0.59	<LD	<LD	35.82
	Okt	6.8	9.24	10.38	3	2.92	0.008	<LD	0.6	0.15

Sumber : Data Hasil Analisa Limbah RSU Haji Surabaya

Data hasil analisa laboratorium yang diambil pada tahun 2011 sampai 2013, yang ditandai diatas menunjukkan kualitas efluen yang melebihi baku mutu. Konsentrasi COD tertinggi didapatkan pada pemeriksaan pada bulan Oktober 2012 yaitu mencapai 145,8 mg/ l, melebihi baku mutu yang sebesar 100 mg/ l. Konsentrasi  $\text{NH}_3$  bebas tertinggi didapatkan dari pemeriksaan pada bulan Oktober 2013 yaitu sebesar 2,92 mg/ l, sedangkan baku mutu sebesar 0,1 mg/ l. Konsentrasi phosphat tertinggi pada bulan Juli 2013 mencapai nilai 35,82 mg/ l, melebihi baku mutu yang sebesar 2 mg/ l.

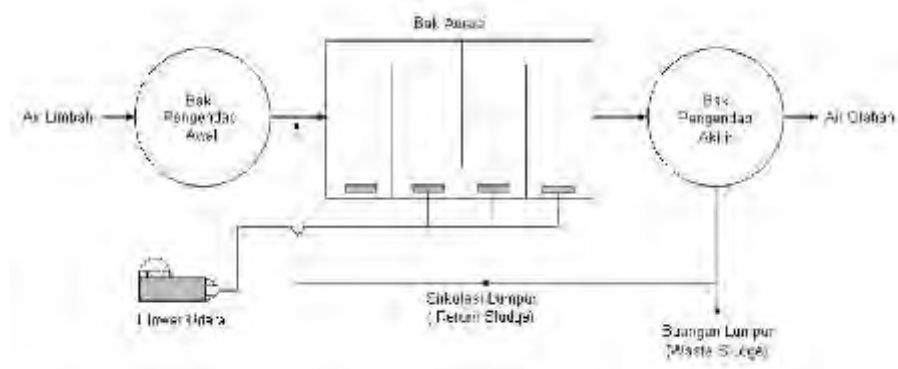
Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kinerja IPAL Lumpur Aktif RSU Haji Surabaya yang ditandai dengan penurunan kualitas efluen limbah cair yang melebihi baku mutu pada setiap periode pemeriksaan. Permasalahan terkait kinerja IPAL ini telah lama terjadi, tetapi belum ada penanganan yang spesifik untuk mengatasi permasalahan tersebut. Secara visual dapat dilihat indikasi gangguan yang terjadi dalam proses IPAL, diantaranya sering terjadi *rising sludge* dan *bulking sludge*. Selain itu apabila diamati pada bak lumpur aktif kondisi air cenderung kurang pekat, hal ini menandakan bahwa jumlah bakteri atau mikroorganisme sedikit. Idealnya, proses lumpur aktif berjalan dengan baik warna air dalam bak cokelat pekat karena bercampur dengan bakteri hidup yang tersuspensi di dalam air limbah.

Kondisi fisik bangunan IPAL juga telah banyak mengalami kerusakan dikarenakan usia, kemungkinan mempengaruhi proses IPAL juga dapat terjadi. Operator IPAL yang ada kurang konsisten dalam melakukan operasional IPAL dalam hal pemantauan debit limbah, pengukuran pH, DO, *Sludge Volume* ( $\text{SV}_{30}$ ), pemberian nutrisi, serta analisa parameter pencemar. Hal ini dikarenakan tugas operator IPAL merangkap dengan tugas lainnya dan kompetensi yang dimiliki kurang mendukung dalam pelaksanaan tugas operasional IPAL.

Untuk mendukung hipotesa tersebut, maka metode *Fault Tree Analysis* (FTA) akan digunakan untuk memastikan akar penyebab masalah yang memicu menurunnya kinerja IPAL. Selain itu dengan metode FTA ini diharapkan dapat diperoleh daftar risiko dan kriterianya yang telah dinilai, sehingga dapat ditentukan prioritas risiko yang akan dilakukan optimasi.

### 2.3. Sistem Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Proses pengolahan limbah cair secara biologis dengan sistem biakan tersuspensi telah banyak digunakan untuk mengolah limbah domestik. Proses ini secara prinsip merupakan pengolahan aerobik dimana senyawa organik dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4$ , dan sel baru. Proses pengolahan biologis dengan biakan tersuspensi ini yang telah banyak digunakan secara umum adalah proses lumpur aktif (*Activated Sludge*). Skema proses pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Proses Lumpur Aktif Konvensional

Proses pengolahan limbah dengan sistem lumpur aktif secara umum terdiri dari bak equalisasi, pengendap awal, bak lumpur aktif, dan bak pengendap akhir. Apabila digunakan untuk mengolah limbah rumah sakit, maka perlu ditambahkan bak klorinasi untuk menghilangkan bakteri patogen (Said, 2008). Pada tahap awal, limbah cair RSUD Haji Surabaya dialirkan menuju bak equalisasi, bak ini berfungsi untuk mengatur debit air limbah agar konstan. Limbah dari bak equalisasi air limbah dipompa ke bak lumpur aktif, di dalam bak ini air limbah dihembus dengan udara dari blower. Hal ini bertujuan agar bakteri dalam air limbah dapat melakukan metabolisme untuk mengurai bahan organik.

Energi hasil penguraian bahan organik digunakan bakteri untuk proses pertumbuhan dan pembentukan sel baru. Dengan demikian di dalam bak aerasi akan tumbuh biomassa dengan jumlah yang besar, dan biomassa inilah yang akan mengurai bahan organik di dalam air limbah. Dari bak lumpur aktif ini air limbah yang bercampur dengan biomassa dialirkan ke bak pengendap akhir untuk dipisahkan. Biomassa yang mengendap (idealnya) akan dikembalikan sebagian

pada bak lumpur aktif sedangkan air yang jernih dibuang ke badan air penerima. Surplus lumpur dari bak pengendap akan ditampung dalam bak pengering lumpur (*drying bed*) dan airnya dikembalikan ke dalam bak equalisasi untuk diproses lagi. Keunggulan dari proses lumpur aktif ini adalah mampu mengolah limbah dengan beban BOD yang besar, sedangkan kelemahannya adalah dapat terjadi buih atau *bulking* pada lumpur aktif. Kriteria perencanaan proses lumpur aktif dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Proses Lumpur Aktif

Beban BOD :	
BOD - MLSS Loading	: 0,2 - 0,4 (kg/ kg.hari)
BOD - Volume Loading	: 0,3 - 0,8 (kg/ m <sup>3</sup> .hari)
MLSS	: 1500 - 2000 mg/ l
F/M Rasio	: 0,04 – 1 Kg/ Kg.Hari
Sludge Age	: 3 - 14 Hari
Kebutuhan Udara (Q udara/ Q air)	: 3 - 7
Waktu Aerasi (t)	: 6 - 8 Jam
Rasio Sirkulasi Lumpur (Q lumpur/ Q air limbah)	: 20 - 40%
Efisiensi Pengolahan	: 85 - 95%

Sumber : Metcalf and Eddy, 2003

Dalam proses pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif, terdapat parameter operasional yang perlu dipenuhi agar pengolahan limbah berjalan dengan optimal. Variable perencanaan yang umum digunakan dalam proses pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif adalah sebagai berikut (Said, 2008) :

1. *BOD Loading Rate* (Beban BOD) adalah jumlah massa BOD dalam air limbah yang akan diolah dalam reaktor lumpur aktif. Beban BOD dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$BOD\ Loading = \frac{Q \cdot S_o}{V} \text{ (kg/ m}^3 \cdot \text{Hari)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Q = Debit Rata-rata air limbah (m<sup>3</sup>)

So = Konsentrasi BOD dalam air limbah (kg/m<sup>3</sup>)

V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m<sup>3</sup>)

2. *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) adalah campuran air limbah dengan bakteri atau biomassa serta padatan tersuspensi lainnya yang berada di dalam bak lumpur aktif. MLSS ditentukan dengan cara menyaring 1 liter lumpur aktif pada kertas saring (filter) dan filter tersebut dikeringkan dengan suhu 105 C, kemudian padatan tersebut ditimbang (mg/l).
3. *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS) merupakan material organik bukan mikroba. MLVSS dikur dengan memanaskan terus sampel filter sampai kering dengan temperatur 600-650 C sampai nilainya mendekati 65-75% dari MLSS.
4. *Food to Microorganism Ratio* (F/M Rasio) merupakan perbandingan antara jumlah bahan organik yang akan diurai (BOD) dengan jumlah mikroorganisme pengurai yang ada dalam bak lumpur aktif. Besarnya nilai F/M ditunjukkan dalam satuan kilogram BOD per kilogram MLSS per hari. Perhitungan F/M dapat dilihat dalam persamaan 2.2.

$$F/M = \frac{Q(S_0 - S)}{MLSS \times V} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- Q = Debit Rata-rata air limbah (m<sup>3</sup>)
- So = Konsentrasi BOD dalam air limbah (kg/m<sup>3</sup>)
- S = Konsentrasi BOD dalam efluen limbah (kg/ m<sup>3</sup>)
- MLSS = *Mixed Liquor Suspended Solids* (kg/ m<sup>3</sup>)
- V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m<sup>3</sup>)

Rasio F/M dikontrol dengan cara mengatur laju resirkulasi lumpur aktif dari bak pengendapan yang dikembalikan ke reaktor lumpur aktif. Semakin tinggi laju resirkulasi lumpur aktif, maka semakin tinggi pula rasio F/M nya. Untuk proses lumpur aktif konvensional, rasio F/M adalah 0,04 – 1 Kg BOD/ Kg MLSS/ Hari. Rasio F/M yang rendah menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam bak lumpur aktif dalam kondisi lapar, semakin rendah rasio F/M maka pengolahan limbah semakin efisien.

5. *Hydraulic Retention Time* (HRT) adalah waktu rata-rata air limbah berada dalam bak aerasi untuk proses penguraian bahan organik. Dapat dikatakan waktu air limbah masuk ke dalam bak aerasi sampai keluar ke unit pengolahan selanjutnya. HRT dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$HRT = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m<sup>3</sup>)

Q = Debit Rata-rata air limbah (m<sup>3</sup>)

6. Rasio Sirkulasi Lumpur merupakan perbandingan antara jumlah lumpur yang disirkulasikan dari bak pengendap ke bak aerasi dengan jumlah limbah yang masuk ke bak aerasi.

7. *Sludge Age* (Umur Lumpur) merupakan waktu tinggal rata-rata lumpur aktif (mikroorganisme) dalam sistem lumpur aktif. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroorganisme. Umur Lumpur dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$\text{Umur Lumpur} = \frac{MLSS \times V}{(SSe \times Q_e) + (SSw \times Q_w)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m<sup>3</sup>)

SSe = Padatan Tersuspensi dalam Efluen (mg/l)

SSw = Padatan Tersuspensi dalam Lumpur Limbah (mg/l)

Qe = Debit Efluen Limbah (m<sup>3</sup>/hr)

Qw = Debit Influen Limbah (m<sup>3</sup>/hr)

Parameter yang paling penting dalam sistem lumpur aktif ini adalah beban limbah (*BOD Loading*), suplai oksigen, dan pengendalian bak pengendap akhir (Said, 2008). Campuran air limbah dan lumpur aktif yang telah di aerasi dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak pengendap ini mikroorganisme (lumpur)



yang masih aktif dipisahkan dari air limbah yang telah diolah, sebagian lumpur dikembalikan ke bak aerasi dan sebagian lagi dibuang pada unit pengolah lumpur.

Proses pengendapan lumpur tergantung dari rasio F/M, pengendapan terjadi dengan baik pada rasio F/M rendah (konsentrasi MLSS tinggi), dan sebaliknya rasio F/M yang tinggi akan mengakibatkan pengendapan lumpur yang buruk.

#### **2.4. Pengertian Risiko**

Menurut Australian Standar Guidelines (1999), risiko adalah suatu kemungkinan atau kejadian yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi suatu tujuan. Risiko dapat diartikan sebagai probabilitas terjadinya suatu kegiatan, yang apabila terjadi akan memiliki dampak atau konsekuensi positif atau negatif terhadap kegiatan tersebut. Risiko tersebut diukur dalam terminologi *Consequences* dan *Likelihood* (Simamora, 2009).

Pada suatu perusahaan, risiko dapat dibedakan menjadi 4 jenis (Apsari, 2014) diantaranya :

1. *Operasional Risk*, adalah risiko-risiko yang berhubungan dengan organisasi perusahaan diantaranya risiko pada sistem organisasi, proses kerja, peralatan atau teknologi, dan sumber daya manusia.
2. *Financial Risk*, adalah risiko terkait masalah keuangan perusahaan.
3. *Hazard Risk*, adalah risiko kecelakaan fisik seperti akibat dari bencana alam, kerusakan, dan berbagai hal yang menimbulkan kerugian asset perusahaan.
4. *Strategic Risk*, merupakan risiko yang berhubungan dengan strategi perusahaan, politik ekonomi, peraturan perundangan, pasar bebas, dan risiko yang terkait reputasi perusahaan.

#### **2.5. Manajemen Risiko Lingkungan**

Menurut Stoklosa (1999) manajemen risiko lingkungan merupakan suatu proses secara sistematis untuk mengidentifikasi dampak lingkungan, menganalisa kemungkinan dan konsekuensi, serta mengatur tingkat hasil risiko (Simamora, 2009). Manajemen risiko lingkungan adalah aplikasi sistematis dari kebijakan manajemen, prosedur dan praktek dalam mengkomunikasikan, menetapkan keadaan, mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, memonitor, dan meninjau

ulang risiko terhadap lingkungan. Menurut *The Standards Australia/New Zealand* (1999) terdapat empat prosedur dalam melakukan manajemen risiko lingkungan, antara lain :

#### 1. *Problem Formulation*

Merupakan proses untuk mengevaluasi dugaan tentang mengapa suatu dampak terhadap lingkungan sudah terjadi, atau dapat terjadi dari aktivitas manusia. Tahap ini merupakan tahap awal dari keseluruhan penilaian risiko lingkungan. Beberapa hal yang utama dalam perumusan masalah meliputi :

- a. Mengidentifikasi dan menggambarkan permasalahan
- b. Mengumpulkan dan mengintegrasikan informasi yang tersedia
- c. Mengembangkan suatu model konseptual yang menyangkut permasalahan
- d. Mengembangkan suatu rencana analisis risiko

#### 2. *Risk Analysis*

*The Standards Australia/New Zealand* (AS/NZS 4360:1999) menjelaskan bahwa risiko adalah suatu kemungkinan dari suatu kejadian yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi suatu aktivitas atau obyek. Risiko tersebut diukur dalam *Consequences* (konsekuensi) dan *Likelihood* (kemungkinan/probabilitas). *Consequence* adalah suatu kejadian dari suatu akibat seperti kerugian. *Likelihood* merupakan kemungkinan dalam suatu periode waktu dari suatu risiko tersebut akan muncul. Perhitungan kemungkinan atau peluang yang sering digunakan adalah frekuensi. Perhitungan risiko dapat dirumuskan sebagai perkalian dari *Likelihood* dengan *Consequence*.

$$Risk = Likelihood \times Consequences \dots\dots\dots(2.5)$$

Analisis risiko mencakup pertimbangan mengenai sumber risiko, konsekuensi, dan kemungkinan dari risiko tersebut. Risiko dianalisa dengan mengkombinasikan nilai *Likelihood* (probabilitas atau frekuensi) dan *Consequence* (dampak atau efek).

#### 4. *Risk Characterization*

*Risk Characterization* merupakan langkah terakhir dari suatu penilaian risiko, yaitu untuk mengetahui tingkatan risiko dari suatu kejadian. Tingkatan risiko tersebut dapat diketahui dengan mengelompokkan atau menggolongkan nilai *Likelihood* dan *Consequences* ke dalam suatu matriks risiko.

#### 5. *Risk Management*

*Risk Management* merupakan tahap di mana perusahaan dapat mempertimbangkan strategi alternatif untuk memperkecil atau mengurangi kemungkinan terjadinya risiko dan konsekuensi atau akibat yang ditimbulkan. Tahap ini disebut sebagai tahap mitigasi risiko. Mitigasi adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengeliminasi atau mereduksi kemungkinan terjadinya *unexpected event*, atau mereduksi konsekuensi atau akibat yang meliputi tindakan pengurangan risiko jangka panjang.

### 2.6. **Identifikasi Risiko**

Tahap identifikasi risiko dimaksudkan untuk mengenali semua potensi risiko yang mungkin terjadi di lingkungan kerja. Identifikasi risiko dimaksudkan untuk menganalisis *potential hazard* dan mengevaluasi kondisi *existing* yang dapat menyebabkan kerusakan atau kerugian bagi perusahaan, manusia, maupun lingkungan (Apsari, 2014). Beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi risiko diantaranya adalah :

1. Evaluasi dokumentasi atau data rekaman
2. Pengumpulan informasi melalui interview, brainstorming, atau identifikasi akar penyebab masalah.

Proses identifikasi juga dapat digunakan sebagai salah satu teknik dalam pengambilan keputusan.

### 2.7. **Analisis Risiko**

Menurut *Australia Standard Guidelines (1999)*, metode untuk analisis risiko dapat menggunakan analisis kualitatif maupun kuantitatif. Masing-masing risiko dinilai secara kualitatif dalam lima kategori masing-masing terhadap

*Likelihood* dan *Consequences*. Dari analisis risiko ini menghasilkan lima tingkatan risiko yaitu *Extreme*, *High*, *Medium*, *Low*, dan *Negligible*.

a. Analisis Kualitatif

Analisis dilakukan dengan klasifikasi penilaian sesuai Tabel 2.4 dan 2.5

Tabel 2.4 Kategori dan Interval Nilai *Likelihood*

Level	Deskripsi	Contoh Detail Deskripsi	Contoh Frekuensi Kejadian
1	Jarang ( <i>Rare</i> )	Hanya terjadi pada kondisi tertentu	Hampir tidak pernah terjadi dalam 5 tahun
2	Kadang-kadang ( <i>Unlikely</i> )	Dapat terjadi pada waktu tertentu	5 tahun sekali
3	Cukup sering ( <i>Moderate</i> )	Akan terjadi pada waktu tertentu	3 tahun sekali
4	Sering ( <i>Likely</i> )	Sangat mungkin terjadi pada waktu tertentu	1 tahun sekali
5	Sangat sering ( <i>Very Likely</i> )	Akan terjadi di setiap waktu/kondisi	Lebih dari 1 kali/tahun

Sumber : *Australia Standard Guidelines (1999)*

Analisis risiko dilakukan dengan mengkombinasikan *Likelihood* (frekuensi kejadian) dan *Consequence* (dampak risiko). *Likelihood* menunjukkan frekuensi sering atau tidaknya risiko tersebut terjadi. Sedangkan *Consequence* menunjukkan besar kecilnya risiko akibat suatu kegiatan terhadap lingkungan.

Tabel 2.5 Kategori dan Interval Nilai *Consequence*

Level	Ranking	Contoh Deskripsi Dampak Akibat Kecelakaan, Kerugian Finansial Yang Menyertainya, serta Gangguan Kerja
1	Negligible	Konsekuensi risiko yang terjadi tidak perlu dikuatirkan
2	Low	Konsekuensi risiko kecil tetapi perlu adanya usaha penanganan untuk mengurangi risiko yang terjadi seperti penanganan di tempat
3	Medium	Konsekuensi risiko sedang oleh karena itu perlu adanya pengelolaan berdasarkan prosedur normal
4	High	Konsekuensi risiko yang terjadi relatif besar terhadap lingkungan oleh karena itu perlu adanya pengelolaan yang intensif dalam penanganan
5	Extreme	Konsekuensi risiko yang terjadi sangat besar

Sumber : *The Government of Western Australian (1999)*

Setelah mendapatkan nilai besaran *Probability* dan *Consequence*, maka kombinasi dari keduanya dimasukkan dalam matrik risiko pada Tabel 2.6 untuk mengetahui karakteristik atau kategori tingkat risiko yang diperoleh.

Tabel 2.6 Matrik Kategori Tingkatan Risiko

		<i>Consequence</i>				
		<i>Extreme</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Negligible</i>
<i>Probability</i>	<i>Almost Certain</i>	<i>Severe</i>	<i>Severe</i>	<i>High</i>	<i>Major</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Likely</i>	<i>Severe</i>	<i>High</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Moderate</i>	<i>High</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>	<i>Moderate</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Unlike</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Rare</i>	<i>Significant</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Trivial</i>	<i>Trivial</i>

Sumber : The Government of Western Australian (1999)

Keterangan :

- a. *Severe* : Risiko tersebut harus dikelola dengan rencana yang detail oleh manajemen, karena risiko hampir selalu terjadi dan memiliki konsekuensi yang sangat riskan bagi keberlangsungan perusahaan dan menyebabkan masalah yang besar bagi perusahaan.
- b. *High* : Memerlukan penelitian lebih detail dan perencanaan manajemen pada tingkat senior. Konsekuensinya mengancam kelangsungan suatu operasi yang efektif dari suatu aktifitas dan memerlukan campur tangan manajemen puncak.
- c. *Major* : Memerlukan perhatian manajemen senior. Konsekuensinya tidak mengancam aktifitas tetapi akan memperburuk suatu aktifitas sehingga perlu dilakukan telaah atau perubahan cara beroperasi.
- d. *Significant* : Memerlukan alokasi tanggung jawab manajemen yang spesifik.

- e. *Moderate* : Memerlukan prosedur reaksi atau pengawasan yang spesifik.
- f. *Low* : Dapat dikelola dengan prosedur operasional yang rutin.
- g. *Trivial* : Tidak memerlukan penggunaan sumber daya yang spesifik atau dapat dikelola dengan pemecahan yang mudah dan cepat.

b. Analisis Kuantitatif

Analisis ini merupakan proses untuk mengukur risiko secara keseluruhan dengan menggunakan formula matematis. Nilai yang dihitung diambil dari berbagai sumber data rekaman perusahaan. Kualitas analisis ini tergantung dari keakuratan dan kelengkapan data yang akan digunakan.

**2.8. *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)***

*Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* merupakan suatu metode yang kuat dalam mengidentifikasi risiko. FMEA diimplementasikan untuk mengidentifikasi bentuk-bentuk potensi kegagalan, menentukan dampaknya terhadap produksi dan mengidentifikasikan tindakan untuk mengurangi kegagalan. Mode Kegagalan dan Efek Analisis sebagai alat perencanaan pada pengembangan proses, produk, atau layanan (Perdana, 2014). Langkah- langkah membuat FMEA adalah sebagai berikut :

1. Mereview proses
2. Brainstorming risiko
3. Membuat daftar risiko, penyebab dan efek potensial

Daftar risiko dapat dibuat dengan menggunakan diagram tulang ikan (*fishbone*) yang selanjutnya dianalisis secara kualitatif berdasarkan keterangan-keterangan yang diperoleh untuk mengetahui penyebab risiko potensial yang akan dianalisa lebih detail (Apsari, 2014). Penggunaan FMEA mempunyai kelebihan antara lain dapat memasukkan hampir setiap risiko hasil brainstorming, dapat mempertimbangkan risiko dalam jumlah besar, dan merupakan bentuk *continuous improvement* karena menggunakan prinsip *Plan, Do, Check, Action (PDCA)*.

## **2.9. Fault Tree Analysis (FTA)**

*Fault Tree Analysis* merupakan salah satu metode manajemen risiko yang banyak direkomendasikan (Clemens, 1993; OSHA 3071, 2002; Wulandari, 2011; Apsari, 2014 ; Syaifuddin, 2014). Berdasarkan *Fault Tree Handbook* dikatakan bahwa *Fault Tree* mempunyai banyak keuntungan dalam penggunaannya yaitu :

1. Mengidentifikasi kemungkinan permasalahan yang terjadi dalam sistem keandalan atau keselamatan pada saat mendesain.
2. Menilai sistem keandalan atau keselamatan selama kegiatan berlangsung.
3. Meningkatkan pemahaman dari sebuah sistem.
4. Mengidentifikasi akar dari penyebab terjadinya kegagalan.

Metode FTA memungkinkan memecahkan masalah dengan mencari akar penyebab masalah yang potensial. Dalam *Fault Tree Analysis*, kejadian yang tidak diinginkan dijadikan sebagai kejadian puncak atau *top event*. Setelah itu memecah sistem yang diamati untuk mengetahui penyebab utama atau kombinasi penyebab dari kejadian puncak atau yang biasa disebut sebagai *top event*.

### **2.9.1. Definisi FTA**

*Fault Tree Analysis* adalah suatu metode untuk memprediksi adanya kemungkinan kegagalan dalam suatu sistem (Wulandari, 2011; Apsari, 2014). *Fault Tree* digambarkan dalam diagram logika yang merupakan suatu konsep penyebab-penyebab kegagalan suatu sistem.

Metode ini secara sistematis merunut kejadian umum menuju khusus hingga ke faktor penyebabnya. Selain itu, metode ini digunakan untuk menentukan peluang kegagalan pada penilaian resiko secara kuantitatif (Crowl, 2002). Model kegagalan yang dihasilkan menggunakan *Boolean logic gates* (AND, OR) untuk menjelaskan kombinasi kegagalan mulai dari kegagalan komponen, manusia dan manajemen.

### **2.9.2. Tahapan FTA**

Dalam melakukan *Fault Tree Analysis* terdapat delapan tahapan yang harus dilewati secara berurutan, diantaranya (Vesely, 2002) :

1. Penetapan kejadian puncak (*define top event*)  
Merupakan kejadian yang memungkinkan terjadinya kegagalan. Kejadian tersebut dapat berupa akhir dari kecelakaan yang mungkin terjadi.
2. Menentukan kemungkinan risiko yang terjadi dalam suatu sistem  
Mengelompokkan beberapa risiko yang sama yang akan dipelajari untuk melakukan penilaian.
3. Mengetahui sistem (*know the system*)  
Mempelajari dan memahami suatu sistem diperlukan untuk membantu dan menentukan informasi yang diperlukan.
4. Membuat diagram *fault tree* (*construct fault tree diagram*)  
Setelah melakukan identifikasi masalah (risiko), selanjutnya disusun urutan sebab akibat menggunakan diagram pohon (*fault tree*). Tujuan pembuatan diagram ini untuk menyederhanakan prosedur analisis risiko serta mencari akar penyebab masalah yang paling pokok. Gerbang logika digambarkan dengan simbol-simbol sesuai kaidah *fault tree*, atau yang biasa disebut boolean. Konstruksi diagram harus konsisten, seragam, sesuai logika, dan sesuai format pada setiap tingkatannya.
5. Validasi diagram pohon (*validated the fault tree*)  
Merupakan kegiatan tinjauan ulang terhadap kelengkapan dan keakuratan diagram *fault tree*. Validasi dapat dilakukan dengan *judgement expert* atau membandingkan dengan data eksisting.
6. Evaluasi diagram pohon (*evaluated the fault tree*)  
Tahap ini merupakan koreksi dari semua area dalam diagram untuk menentukan dimana analisis perbaikan dapat dilakukan untuk mengurangi biaya.
7. *Study tradeoffs*  
Merupakan tahap evaluasi lebih lanjut apabila terdapat prosedur baru sehingga menimbulkan masalah baru pula.
8. *Consider and recommend action*  
Tahap terakhir dimana tindakan koreksi dan perbaikan akan dilakukan.



#### 2.9.4. Komponen FTA

FTA dibuat dengan menentukan *top event* dan *basic cause* yang terkait dengan top event dengan sistem penomoran. Diagram yang dihasilkan akan menghasilkan minimal cut set yang menjadi penyebab terjadinya top event. Komponen FTA terdiri (Vesely, et, al, 1981; Anonymous, 2006 ; Apsari, 2014) :


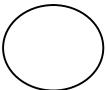
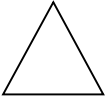
##### 1. Variable Boolean

Variabel kejadian dasar didefinisikan sebagai *basic event*, *basic event* dianggap benar jika terjadi, dan dianggap salah apabila tidak terjadi. Setiap persamaan dapat disederhanakan berdasarkan Boolean Algebra. Pada persamaan tersebut “x” menyatakan AND dan “+” menyatakan OR.

##### 2. Simbol Boolean

FTA terdiri dari simbol *events* dan simbol *gates*. Simbol- simbol tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

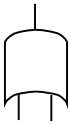
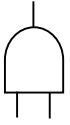

Tabel 2.7 Simbol *Events*

Simbol	Nama	Keterangan
	Rectangle	Berisi penjelasan suatu kejadian risiko pada pohon kesalahan. Digunakan untuk mendeskripsikan kejadian utama (top event) yang tidak diinginkan dan juga kejadian yang menghasilkan kesalahan ( <i>intermediate event</i> ). Dibatasi oleh gerbang logika ( <i>gates</i> ) berupa simbol.
	Circle	Menunjukkan <i>basic event</i> yang merupakan komponen kegagalan tingkat terendah atau akar penyebab masalah.
	Transfer	Menunjukkan bahwa komponen kejadian dipindahkan ke diagram terpisah.

Sumber : *Fault Tree Handbook (1981)*

Simbol *events* ini digunakan untuk menjelaskan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol ini mempermudah dalam melakukan identifikasi setiap kejadian yang terjadi. *Top events* merupakan kejadian teratas dalam sistem, kemudian dilanjutkan dengan *intermediate events*, dan dapat ditelusur kebawah penyebabnya sehingga ditemukan akar penyebab masalah yang utama.

Tabel 2.8 Simbol *Gates*

Simbol	Nama	Keterangan
	OR	Output kesalahan berlaku jika salah satu input terjadi. Yakni ketika input bersifat <i>individually</i> .
	AND	Output kesalahan berlaku jika semua input terjadi. Yakni ketika semua input bersifat <i>collectively</i> .
	Vote	Output kesalahan berlaku jika semua input terjadi. Yakni ketika terdapat mutualisasi antara beberapa input.

*Sumber : Fault Tree Handbook (1981)*

Simbol gates digunakan untuk menunjukkan antar kejadian dalam suatu sistem. Suatu kejadian muncul akibat dari satu satu kejadian atau bersama-sama dengan kejadian lain digambarkan dengan simbol ini.

#### 2.9.5. Analisis FTA

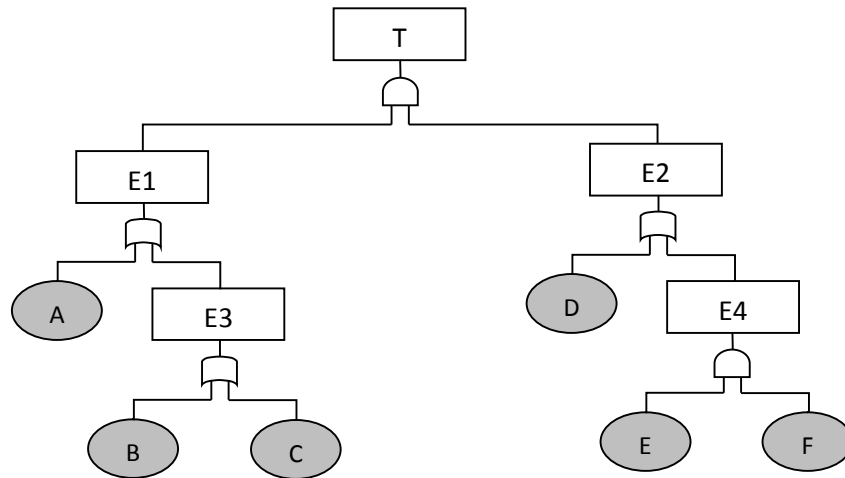
Kelebihan dari metode ini dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif, sehingga dapat mengurangi tingkat subyektifitas. Metode yang digunakan sebagai berikut :

##### a. Analisis Kualitatif

Merupakan analisis dalam FTA yang menggunakan ekspresi logika. Analisis ini menggunakan variable dan simbol algebra. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### 1. *Top to Bottom*

Analisis ini dimulai dari *top event* atau kejadian puncak yang kemudian bergerak ke bawah menuju *intermediate event* sampai pada *basic event* dengan menggunakan simbol *gates* sebagai pengganti ekspresi logika kualitatif seperti diagram pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram *Fault Tree Analysis*

Sumber : Apsari, 2014

## 2. Bottom Up

Setelah diperoleh ekspresi logika dalam bentuk simbol, maka ekspresi ini akan diterjemahkan dalam bentuk lain. Analisis ini dilakukan dari level yang paling bawah (*basic event*) kemudian menuju ke level paling atas (*top event*). Berdasarkan Gambar 2.4, diperoleh analisis sebagai berikut :

Untuk level bawah diperoleh :

$$E3 = B \cup C ; E4 = A \cup B \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk level tengah diperoleh :

$$E1 = A \cup E3 ; E2 = D \cup E4 \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk level atas diperoleh :

$$T = E1 \cup E2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Kemudian disubstitusikan persamaan 2.1 dengan 2.3, diperoleh :

$$T = (A \cup E3) \cup (D \cup E4) \dots\dots\dots(2.9)$$

Maka didapatkan ekspresi logika untuk Top Event :

$$T = (A \cup (B \cup C)) \cup (D \cup (E \cup F)) \dots\dots\dots(2.10)$$

## b. Analisis Kuantitatif

Analisis ini menggunakan nilai-nilai munerik untuk menentukan probabilitas dengan menggunakan data-data yang ada. Kualitas analisis ini tergantung pada

kelengkapan dan keakuratan data yang digunakan. Nilai probabilitas dapat dihitung berdasarkan frekuensi proses (Fp) dan frekuensi terjadinya error atau terjadinya kerusakan (Fk). Frekuensi tersebut didapatkan dari catatan atau rekaman kejadian, assessment perusahaan, serta semua informasi yang dapat digunakan untuk memperkirakan semua kemungkinan semua peristiwa yang akan terjadi. Semakin lengkap dan akurat data yang digunakan, maka semakin akurat pula perhitungan probabilitasnya. Probabilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai 2.11.

$$P = \frac{Fp+Fk}{\sum (Fp+Fk)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

P = Probabilitas

Fp = Frekuensi Proses

Fk = Frekuensi Kejadian

Setelah didapatkan nilai prosentase probabilitas, maka dapat ditentukan penanganan risiko yang harus diprioritaskan berdasarkan nilai probabilitas terbesar, sehingga dapat diperoleh tindakan optimasi yang tepat.

Menurut Frame (2003), risiko merupakan hubungan antara kemungkinan dan dampak suatu risiko, sehingga diperlukan penilaian terhadap dampak (*Consequence*) untuk memperoleh kategori peringkat risiko. Nilai *Consequence* dapat dihitung dengan persamaan 2.12.

$$Consequence = \frac{Parameter\ IN-Parameter\ OUT}{Parameter\ IN} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Dalam analisis risiko IPAL, penentuan *Consequence* dihitung dengan menggunakan data hasil analisa limbah yang telah dilakukan secara rutin. Dari hasil perhitungan probabilitas dan *Consequence* dimasukkan ke dalam matriks risiko. Dari matrik ini dapat diketahui kategori risiko yang telah diidentifikasi dan dinilai probabilitas dan konsekuensinya.

## 2.10. Optimasi dan Strategi Mitigasi

Langkah optimasi dilakukan setelah mengetahui faktor penyebab masalah berdasarkan kategori peringkat risikonya. Cara optimasi yaitu dengan melakukan mitigasi risiko, yaitu suatu cara dalam penanganan risiko sebagai strategi untuk mencegah timbulnya risiko lain, mengurangi frekuensi terjadinya risiko, dan strategi menghadapi risiko itu sendiri. Menurut Frame dalam *Managing Risk in Organizations* (2003), terdapat 4 macam bentuk strategi mitigasi risiko yang antara lain adalah :

- a. Menghindari risiko yaitu melakukan langkah agar risiko tidak terjadi.
- b. Mengurangi risiko yaitu berusaha mengalokasikan wilayah kejadian dan atau mengurangi frekuensi kejadian risiko.
- c. Mentransfer risiko yaitu melakukan pemindahan risiko kepada pihak tertentu semisal asuransi atau dikontrakkan ke pihak ketiga.
- d. Menerima risiko yaitu menghadapi segala risiko yang terjadi apa adanya baik risiko yang masih dapat dikendalikan seperti kerusakan pada unit bangunan dan peralatan ataupun di luar kendali seperti risiko *force majeure* seperti terkena bencana gempa bumi, banjir, kebakaran dan peperangan.

Menurut *Standards Australia's Risk Management: AS/NZS 4360:1999*, membagi dalam dua hal yaitu mengurangi dan membagi strategi penanganan atau mitigasi risiko menjadi dua kategori, yaitu :

1. Tindakan untuk mengurangi atau mengendalikan kemungkinan.
2. Prosedur untuk mengurangi atau mengendalikan konsekuensi.

Termasuk dalam kategori pertama adalah tindakan seperti melakukan audit, penataan kontrak efektif, melakukan review formal persyaratan, spesifikasi, rekayasa dan operasi, pemeliharaan preventif, menerapkan manajemen proyek yang efektif, menerapkan kualitas yang solid jaminan usaha, pelatihan personil, merancang organisasi untuk beroperasi secara efektif, dan melaksanakan pengawasan yang efektif. Termasuk dalam kategori kedua adalah prosedur seperti pelaksanaan kontingensi rencana, menetapkan kontrak yang jelas, pelaksanaan rencana disaster recovery, rencana untuk menangani penipuan, dan membangun strategi *public relations*.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Umum**

Metode penelitian ini dibuat sebagai acuan dalam melakukan penelitian untuk mengidentifikasi risiko, membuat diagram *Fault Tree*, memperoleh besaran risiko, memetakan risiko, hingga melakukan optimasi.

Setiap tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dituangkan dalam kerangka penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Tujuan pembuatan kerangka penelitian yaitu :

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian agar dalam pelaksanaan dan pembuatan laporan penelitian menjadi sistematis.
2. Memudahkan dalam pelaksanaan penelitian serta hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan penelitian.
3. Memperkecil terjadinya kesalahan selama melakukan penelitian.

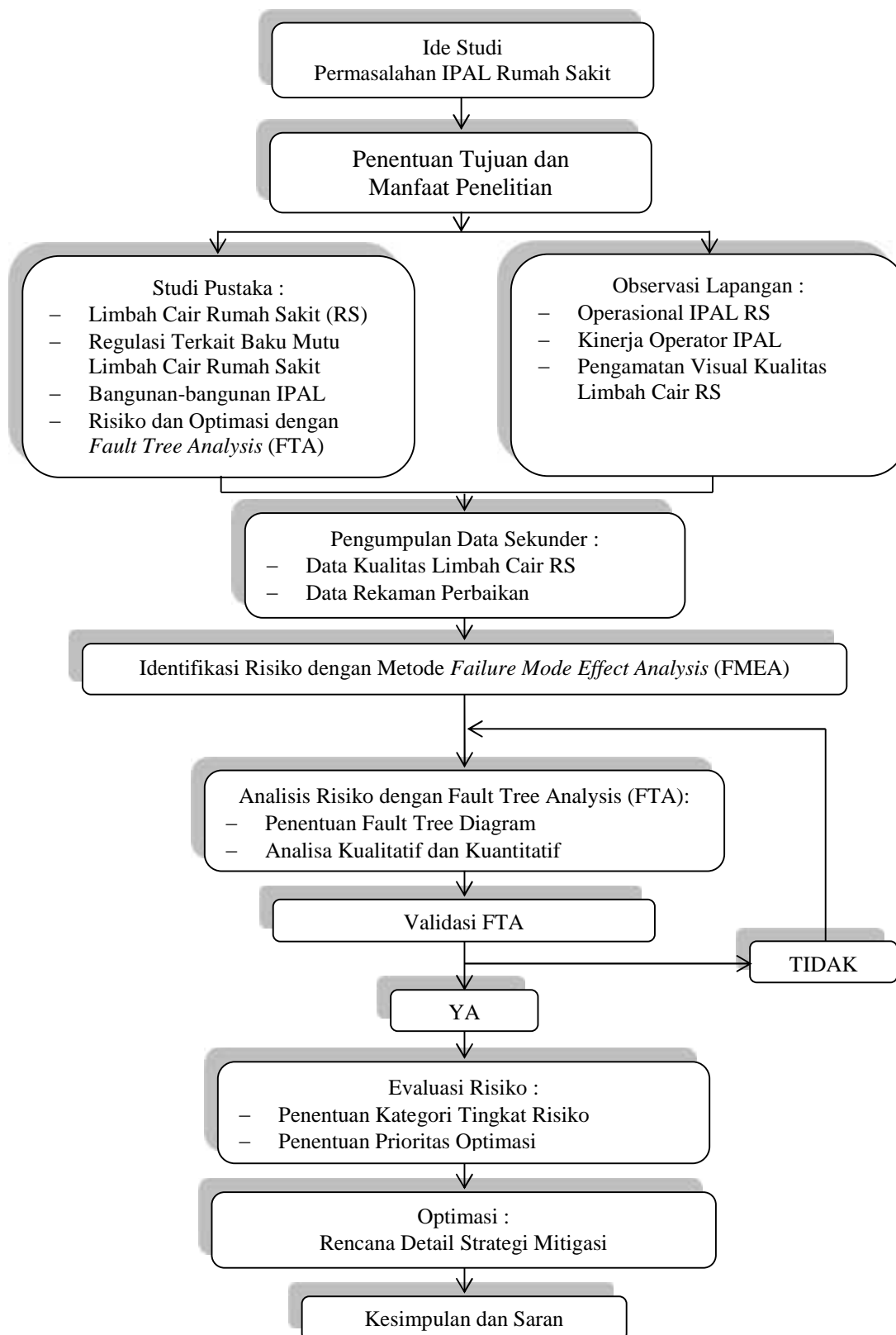
#### **3.2. Pelaksanaan penelitian**

Pelaksanaan penelitian dimulai dari ide penelitian, studi literatur, serta pengumpulan dan pengolahan data sekunder. Pengumpulan data juga dilakukan dengan observasi lapangan dan wawancara dengan operator dan koordinator yang bertanggung jawab terhadap operasional IPAL.

Data hasil wawancara tersebut digunakan untuk mendukung data sekunder yang didapat. Hasil pengolahan data tersebut akan dianalisa serta ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian.

##### **3.2.1. Ide Penelitian**

Ide penelitian diperoleh dari adanya permasalahan mengenai penurunan kinerja IPAL RSU Haji Surabaya yang ditandai dengan penurunan kualitas efluen limbah cair. Kondisi seperti ini menimbulkan gap antara keinginan untuk memenuhi baku mutu lingkungan dengan kondisi eksisting di lapangan.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

### 3.2.2. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan dasar dari pelaksanaan penelitian, analisis, maupun penyusunan laporan. Studi pustaka yang dilakukan terkait karakteristik dan sumber-sumber limbah cair rumah sakit, regulasi yang mengatur baku mutu limbah cair rumah sakit, unit-unit operasi IPAL, dan metode analisis risiko dan optimasi menggunakan FMEA dan FTA.

Sumber pustaka yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jurnal ilmiah, tesis, tugas akhir, buku, artikel ilmiah, dan informasi lain yang menunjang penelitian ini. Sumber informasi dari media lain seperti surat kabar, peraturan perundangan, blog, serta media elektronik lain juga dapat digunakan untuk mendukung penelitian ini.

### 3.2.3. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui lebih jelas operasional IPAL lumpur aktif, kegiatan ini diantaranya meliputi :

1. Pengamatan operasional IPAL, bertujuan untuk mengetahui apa saja aktifitas operator IPAL dalam melakukan operasionalnya.
2. Pengamatan kinerja operator, hal ini bertujuan untuk memastikan konsistensi pelaksanaan Standar Operasional Prosedur (SOP) terkait operasional IPAL. Kesesuaian dalam melakukan pengambilan sampel dan pengukuran parameter-parameter air limbah seperti Debit air, pH, Kandungan Oksigen (DO), COD. Selain itu untuk mengetahui respon operator apabila terjadi kerusakan atau *failure* dalam operasional IPAL.
3. Pengamatan secara visual kualitas limbah cair dilakukan untuk mengetahui apakah proses pengolahan limbah cair berjalan normal. Kegiatan yang dilakukan meliputi pengamatan warna air limbah dalam bak lumpur aktif, pengamatan *sludge volume* yaitu jumlah mikroorganisme yang terdapat pada bak lumpur aktif, serta pengamatan kekeruhan air pada outlet IPAL.

Dari kegiatan tersebut diharapkan dapat mempertajam dalam melakukan identifikasi risiko dan menganalisa akar penyebab masalah yang ada di lapangan.



Selain itu diharapkan akan lebih detail dalam pembuatan *Fault Tree Diagram* sehingga memungkinkan untuk mencakup risiko terkecil sekalipun.

#### **3.2.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data Sekunder**

Pengumpulan data sekunder meliputi kualitas efluen air limbah, debit harian air limbah yang diolah, ceklist perawatan dan perbaikan peralatan mekanik dan bangunan IPAL, serta catatan lainnya terkait operasional IPAL. Data tersebut diambil dalam kurun waktu 3 tahun terakhir (2011 – 2013) untuk mengetahui fluktuasi kualitas efluen yang dihasilkan.

Data tersebut diperoleh dari koordinator penyehatan lingkungan instalasi sanitasi RSUD Haji Surabaya. Dalam keterbatasan data yang dimiliki, pengumpulan data sekunder juga dilakukan dengan wawancara dan diskusi dengan operator IPAL, dan Kepala Instalasi Sanitasi RSUD Haji Surabaya. Data yang telah terkumpul selanjutnya akan direkapitulasi yang kemudian digunakan sebagai pertimbangan dalam mengidentifikasi risiko, penentuan frekuensi, perhitungan probabilitas *Likelihood* maupun *Consequence*. Data hasil analisa laboratorium dan ceklist harian IPAL terlampir.

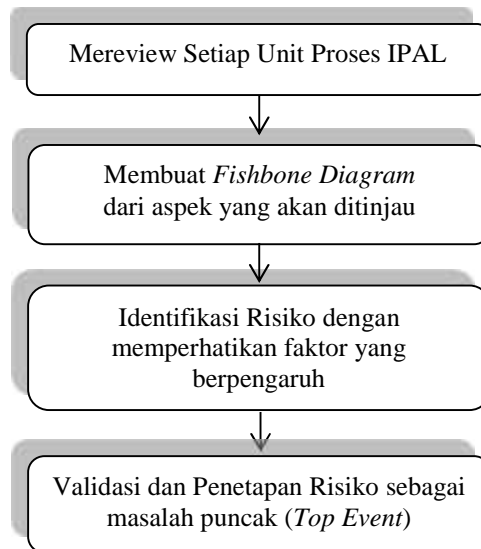
#### **3.2.5. Analisis dan Pembahasan**

##### **3.2.5.1. Identifikasi Risiko dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis***

Menurut Australian Standar Guidelines 1999, identifikasi dalam manajemen risiko meliputi potensi risiko yang mungkin terjadi serta faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya risiko tersebut. Beberapa aspek permasalahan dalam suatu organisasi atau sistem perlu diidentifikasi untuk mendapatkan akar masalah yang akan dikaji lebih lanjut.

Risiko yang diidentifikasi meliputi risiko negatif karena risiko tersebut berpotensi mengganggu tujuan dari proses. Identifikasi risiko terhadap setiap aspek yang diteliti dilakukan dengan penelusuran dan pengamatan pada setiap kejadian yang muncul berdasarkan data atau rekaman dan hasil wawancara dan diskusi. Penelusuran dilakukan mulai dari studi literatur, pengumpulan data, sampai dengan wawancara atau diskusi dengan Instalasi Sanitasi RSUD Haji Surabaya. Tahap identifikasi ini menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis*

(FMEA) untuk mendapatkan penyebab risiko yang potensial. Tahapan identifikasi risiko pada IPAL RSUD Haji Surabaya dilakukan dengan mereview setiap proses pada unit IPAL dengan melakukan brainstorming dengan unit yang bertanggung jawab atas operasional IPAL, dan membuat daftar risiko, penyebab dan dampak potensial yang secara garis besar dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tahapan Identifikasi Risiko

Penjelasan dari setiap tahapan identifikasi risiko adalah sebagai berikut :

1. Mereview setiap unit proses IPAL merupakan kegiatan untuk mengetahui secara detail unit operasi yang digunakan, meliputi fungsi setiap unit, cara kerja, aliran air, sampai pada kriteria perencanaan.
2. Membuat diagram tulang ikan (*Fishbone*) dengan tujuan untuk mengidentifikasi risiko dari setiap aspek yang akan ditinjau, yaitu sumber daya manusia, mesin atau peralatan, dan metode atau proses IPAL.
3. Identifikasi Risiko dengan metode FMEA dengan cara melakukan identifikasi dari setiap proses atau aktifitas pada setiap unit operasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui secara jelas proses yang ada pada IPAL. Identifikasi risiko dilakukan dengan memperhatikan faktor- faktor yang berpengaruh dari setiap variabel yang ditentukan. Dari cara ini akan didapatkan sub faktor risiko yang teridentifikasi.

4. Validasi dilakukan dengan berdiskusi dengan kepala instalasi sanitasi sebagai *judgment expert*, selain itu validasi juga dilakukan dengan menyesuaikan dengan data yang ada. Hasil identifikasi risiko tersebut ditetapkan sebagai *Top Event* untuk dicari akar permasalahan menggunakan metode FTA.

#### 3.2.5.2. Analisis Risiko dengan *Fault Tree Analysis (FTA)*

Setelah dilakukan identifikasi, tahapan dalam analisis risiko menggunakan *Fault Tree Analysis* meliputi (Apsari, 2014) :

1. Tahap pertama, Analisis Kualitatif

Yaitu pembuatan *Fault Tree Diagram* dari masing - masing risiko atau top event yang telah teridentifikasi. Dengan cara ini dapat diketahui dengan pasti akar penyebab terjadinya risiko.

2. Tahap Kedua, Analisis Kuantitatif

Setelah diketahui dengan pasti penyebab terjadinya risiko tersebut, maka dapat ditentukan *Probability*, *Likelihood*, dan *Consequence* sebagai berikut :

- a. Penentuan *Probability dan Likelihood*

Penentuan *Probability* dan *Likelihood* diawali dengan mengetahui besarnya frekuensi pada kejadian tersebut. Nilai frekuensi didapat dari data sekunder yang telah dikumpulkan diantaranya ceklist harian IPAL, data rekaman perbaikan peralatan mekanik IPAL dan lainnya. Nilai frekuensi juga dapat diperoleh dari hasil wawancara dan diskusi yang mengacu pada keabsahan data yang telah terkumpul. Perhitungan nilai *Probability* menggunakan rumus :

$$P = \frac{FP+FK}{\Sigma(FP+FK)} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

- P : Probabilitas
- Fp : Frekuensi Proses
- Fk : Frekuensi Kejadian

b. Penentuan *Consequence*

Nilai *Consequence* ditentukan sesuai dengan kriteria risiko terhadap kualitas efluen IPAL RSUD Haji Surabaya. Data hasil analisa limbah yang tidak memenuhi baku mutu diambil dan dihitung untuk menentukan nilai *Consequence*. Berikut perhitungan penentuan nilai konsekuensi :

$$\frac{\text{Parameter IN}-\text{Parameter OUT}}{\text{Parameter IN}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

**3.2.5.3. Validasi Fault Tree Analysis**

Validasi dilakukan dengan *judgement expert* dalam hal ini adalah kepala instalasi sanitasi dan koordinator kesehatan lingkungan yaitu orang yang kompeten dan paham tentang operasional dan sistem kerja IPAL RSUD Haji Surabaya. Pemahaman akan proses kerja IPAL sangat penting dalam menunjang hasil validasi, untuk itu latar belakang bidang ilmu dan riwayat bidang pekerjaan juga akan dipertimbangkan untuk menunjuk *judgement expert* dalam proses validasi.

Selain itu validasi dapat juga dilakukan dengan konsultan perencana pembangunan IPAL dengan didukung data rekaman atau laporan harian IPAL. secara pemahaman teknis tentunya konsultan perencana sangat memahami proses IPAL yang dirancang. Tahap validasi merupakan hal yang penting dalam metode FTA, hal itu dilakukan untuk mengetahui kesesuaian diagram *Fault Tree* yang telah dibuat.

**3.2.6. Evaluasi Risiko**

**3.2.6.1. Penentuan Kategori Peringkat Risiko**

Pada tahap ini nilai risiko yang didapatkan dianalisa dan disesuaikan dengan kategori tingkatan risiko sesuai Australian Standar Guidelines (1999). Analisa tersebut dilakukan dengan pembuatan peta risiko seperti pada Tabel 3.1.

Dari peta risiko ini dapat dilihat risiko mana yang memerlukan penanganan prioritas untuk mengoptimalkan kinerja IPAL RSUD Haji Surabaya, terutama pada kategori risiko yang paling tinggi.

Tabel 3.1 Peta Kategori Tingkatan Risiko

		<i>Consequence</i>				
		<i>Extreme</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Negligible</i>
<i>Probability</i>	<i>Almost Certain</i>	<i>Severe</i>	<i>Severe</i>	<i>High</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>
	<i>Likely</i>	<i>Severe</i>	<i>High</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Moderate</i>	<i>High</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>	<i>Moderate</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Unlike</i>	<i>Major</i>	<i>Significant</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Trivial</i>
	<i>Rare</i>	<i>Significant</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Trivial</i>	<i>Trivial</i>

Sumber : The Government of Western Australian (1999)

Batasan kriteria dari setiap kategori tingkatan risiko serta range nilainya dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan 3.3 untuk menentukan atau menilai setiap faktor risiko yang didapat. Kriteria ini merupakan dasar untuk melakukan penilaian terhadap risiko-risiko yang telah teridentifikasi.

Tabel 3.2 Kriteria Nilai *Likelihood* atau *Probability*

<b>Kategori</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Range Nilai</b>
<i>Rare</i>	Kegiatan yang dilakukan jarang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar	<10%
<i>Unlikely</i>	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan kecil dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan	11 – 30%
<i>Moderate</i>	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan sedang menimbulkan risiko terhadap lingkungan	31 – 60%
<i>Likely</i>	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan besar kemungkinan menimbulkan risiko	61 – 80%
<i>Almost Certain</i>	Kegiatan yang dilakukan hampir menimbulkan risiko	>81%

Sumber : The Government of Western Australian (1999)

Tabel 3.3 Kriteria Nilai *Consequence*

Kategori	Penjelasan	Range Nilai
<i>Negligible</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi tidak perlu dikuatirkan	<10%
<i>Low</i>	Konsekuensi risiko kecil tetapi perlu adanya usaha penanganan untuk mengurangi risiko yang terjadi seperti penanganan di tempat	11 – 30%
<i>Medium</i>	Konsekuensi risiko sedang oleh karena itu perlu adanya pengelolaan berdasarkan prosedur normal	31 – 60%
<i>High</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi relatif besar terhadap lingkungan oleh karena itu perlu adanya pengelolaan yang intensif dalam penanganan	61 – 80%
<i>Extreme</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi sangat besar	>81%

Sumber : *The Government of Western Australian (1999)*

#### 3.2.6.2. Optimasi dan Strategi Mitigasi

Langkah optimasi dilakukan setelah mengetahui faktor penyebab masalah berdasarkan kategori peringkat risikonya. Cara optimasi yaitu dengan melakukan mitigasi risiko, yaitu suatu cara dalam penanganan risiko sebagai strategi untuk mencegah timbulnya risiko lain, mengurangi frekuensi terjadinya risiko, dan strategi menghadapi risiko itu sendiri.

#### 3.2.7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu akan didapatkan faktor utama penyebab masalah, besaran nilai risiko yang mempengaruhi kualitas efluen IPAL, serta rekomendasi strategi mitigasi penanganan risiko dalam upaya mengoptimalkan kinerja IPAL RSUD Haji Surabaya.

Saran yang diambil bertujuan memberikan sinergi untuk penelitian selanjutnya dalam upaya perbaikan dan peningkatan kualitas secara berkesinambungan dengan perkembangan teknologi dan keilmuan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Penentuan Kriteria Risiko

Menurut Australian Standar Guidelines (1999), risiko adalah suatu kemungkinan atau kejadian yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi suatu tujuan. Mengacu pada pengertian tersebut, maka kriteria risiko dari penelitian ini adalah kejadian yang menyimpang dari kualitas efluen air limbah yang kurang optimal. Hal ini merupakan kejadian yang tidak diharapkan dalam proses pengolahan air limbah.

Berdasarkan data hasil analisa laboratorium pada Lampiran B, parameter efluen air limbah rumah sakit yang melebihi baku mutu diantaranya *Chemical Oxygen Demand* (COD),  $\text{NH}_3$  bebas, dan Phospat. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri dan Kegiatan Lainnya di Jawa Timur.

Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD),  $\text{NH}_3$  bebas, dan Phospat dapat diturunkan dalam proses biologi, diantaranya dengan menggunakan sistem lumpur aktif. Sehingga kualitas efluen air limbah tidak ada yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. COD,  $\text{NH}_3$  bebas, dan Phospat merupakan parameter yang tidak dapat dihindari dalam air limbah rumah sakit. COD dan  $\text{NH}_3$  bebas berasal dari limbah domestik dan buangan manusia, sedangkan Phospat berasal dari kegiatan pencucian linen dengan menggunakan deterjen. Penelitian yang dilakukan Said, 2008 proses lumpur aktif dapat menurunkan bahan pencemar organik hingga 90%. Bakteri atau mikroorganisme dapat mengurai senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Sehingga dapat dikatakan bahwa parameter pencemar seperti COD,  $\text{NH}_3$  bebas, dan Phospat dapat dieliminasi lebih banyak apabila kinerja proses biologi atau lumpur aktif optimal.

Proses lumpur aktif dikatakan optimal apabila memenuhi nilai kriteria pengolahan diantaranya *Food/ Microorganism* (F/M), *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS), umur lumpur, dan rasio resirkulasi lumpur. MLSS merupakan salah satu indikator pengolahan dalam sistem lumpur aktif. MLSS menunjukkan kepadatan bakteri atau mikroorganisme yang ada dalam sistem lumpur aktif. Nilai



MLSS yang direkomendasikan antara 1500 – 2000 mg/l (Metcalf and Eddy, 2003). Semakin tinggi nilai MLSS menunjukkan semakin banyaknya bakteri yang melakukan aktifitas penguraian bahan pencemar, sehingga dapat dikatakan efisiensi proses lumpur aktif juga semakin tinggi. Dengan demikian indikator kriteria risiko pada penelitian ini adalah penurunan kualitas efluen limbah cair yang meliputi parameter COD, NH<sub>3</sub> bebas, dan Phospat.

#### **4.2. Identifikasi Risiko**

Risiko dapat diartikan sebagai probabilitas terjadinya suatu kegiatan, yang jika terjadi akan memiliki konsekuensi positif atau negatif terhadap suatu kegiatan (Apsari, 2014).

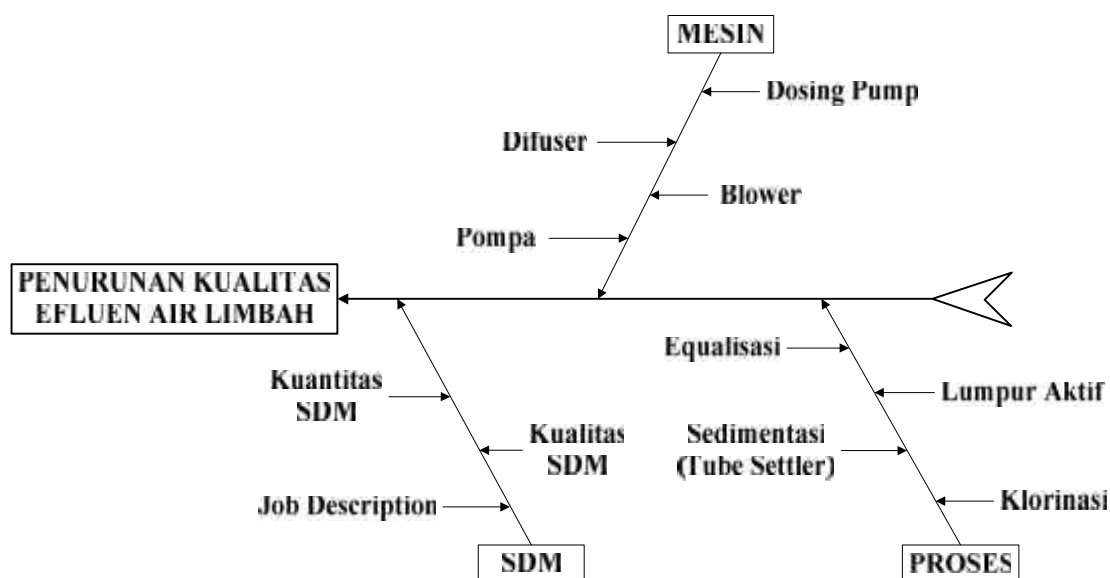
Identifikasi risiko merupakan proses dalam menentukan apa, kenapa, dan bagaimana risiko tersebut dapat terjadi. Tujuan dari proses identifikasi risiko ini adalah untuk mengenali risiko apa saja yang dapat terjadi sehingga dapat mengoptimalkan suatu sistem dengan cara mencegah atau meminimalisasi terjadinya risiko tersebut. Hasil identifikasi risiko ini berupa daftar risiko yang akan menjadi prioritas risiko untuk dianalisis lebih detail sebagai langkah optimasi.

Tahapan yang dilakukan dalam identifikasi risiko diantaranya melakukan wawancara, pengambilan kuisioner untuk mengetahui informasi terkait kualitas efluen limbah cair, observasi lapangan untuk mengetahui operasional di lapangan, serta data histori tentang kerusakan peralatan mekanik pada sistem operasi, serta permasalahan- permasalahan lain terkait operasional IPAL.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan dan kajian berdasarkan pengalaman petugas terkait, diperoleh beberapa komponen faktor penyebab risiko penurunan kualitas efluen limbah cair. Faktor penyebab risiko tersebut diantaranya mulai dari faktor sumber daya manusia sebagai orang yang mengendalikan proses IPAL, faktor mesin sebagai penunjang proses IPAL, serta faktor proses pada IPAL itu sendiri.

Item kegagalan dan permasalahan serta faktor- faktor yang mempengaruhi kualitas efluen IPAL RSUD Haji Surabaya disusun dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) yang berbentuk *fishbone* diagram. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi efek, modus kegagalan, dan penyebab

permasalahan. Pada metode FMEA item kegagalan dan permasalahan yang telah disusun dalam fishbone diagram tersebut dianalisis secara kualitatif pada masing-masing sub penyebab untuk memperoleh faktor risiko kritis. Fishbone diagram untuk risiko penurunan kualitas efluen IPAL dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Fishbone Diagram* Kualitas Efluen IPAL

Sub faktor risiko penyebab penurunan kualitas efluen IPAL RSU Haji Surabaya adalah sebagai berikut :

#### 1. Sumber Daya Manusia

Sumber daya manusia (SDM) merupakan aset penting dalam pelaksanaan kegiatan sebuah organisasi. Struktur organisasi dibuat untuk menunjukkan hubungan kerja internal suatu organisasi. Adanya SDM yang berkualitas sangat mempengaruhi kinerja organisasi. Dalam proses pengolahan limbah di RSU Haji Surabaya peran operator IPAL sangat penting untuk memastikan kinerja IPAL dapat optimal. Kinerja operator IPAL yang buruk serta perilaku yang kurang konsisten dalam melaksanakan SOP secara tidak langsung akan berdampak pada kualitas efluen IPAL limbah cair. Selain itu faktor kompetensi operator dalam melaksanakan operasional IPAL, beban kerja, juga turut

mempengaruhi. Penurunan kualitas efluen IPAL RSUD Haji Surabaya karena faktor manusia disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

- a. Belum tersedianya tenaga khususnya operator IPAL, teknisi, dan analis laboratorium, semua dirangkap oleh 1 orang pelaksana IPAL.
- b. Kurangnya kompetensi SDM terkait operasional IPAL, sehingga pemahaman akan operasional IPAL juga kurang.
- c. Standar Operasional Prosedur (SOP) yang tidak sesuai standar, sehingga sulit diterapkan di lapangan, yang akhirnya mempengaruhi konsistensi pelaksanaan SOP tersebut.

## 2. Mesin atau Peralatan

Unit IPAL tentunya tidak lepas dari peralatan- peralatan mekanik untuk menunjang proses yang ada di dalamnya. IPAL RSUD Haji Surabaya dibangun pada tahun 1996. Kinerja dan performa mesin yang prima tentunya akan menunjang proses pengolahan secara optimal, sebaliknya apabila kinerja mesin menurun atau bahkan terjadi kerusakan maka akan mengganggu proses IPAL yang akhirnya berdampak pada kualitas efluen. Tuanya usia mesin, kurangnya perawatan, dan spesifikasi yang tidak sesuai merupakan faktor yang sering terjadi. Data histori laporan perawatan dan perbaikan peralatan mekanik IPAL selama tiga tahun terakhir (2011 – 2013) menunjukkan bahwa perawatan dan perbaikan telah dilakukan dengan baik dan secara rutin. Sedangkan untuk kualitas dan kinerja peralatan tersebut kurang menunjang fungsi peralatan itu sendiri.

Penurunan kualitas efluen IPAL RSUD Haji Surabaya karena faktor mesin atau peralatan disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

- a. Kualitas mesin yang kurang baik
- b. Usia mesin yang sudah tua
- c. Kurangnya perawatan mesin
- d. Tidak pernah dilakukan kalibrasi
- e. Kerusakan berat yang perlu penanganan dalam waktu lama

### 3. Proses IPAL

Proses IPAL merupakan faktor yang langsung berhubungan dengan risiko penurunan kualitas efluen limbah cair. Data primer yang diambil dengan mengukur parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pengukuran dilakukan pada hari senin sampai sabtu (6 hari) yang mewakili waktu *peak* dan *low season*. Hasil analisa COD (Lampiran B) direkapitulasi untuk dihitung, sehingga didapatkan efisiensi kinerja setiap unit pengolahan. Hasil perhitungan efisiensi kinerja setiap unit pengolahan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Efisiensi Kinerja Setiap Unit Pengolahan

Unit Proses	Efisiensi (% Removal)						Efisiensi Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
Equalisasi (5%)	1.32	1.36	1.41	1.40	1.42	1.81	1.45
Lumpur Aktif (90%)	8.82	7.16	6.30	3.13	18.77	20.22	10.73
Sedimentasi (20%)	1.47	3.56	3.67	3.81	5.78	3.23	3.59
Klorinasi (90%)	19.35	18.46	16.83	52.44	60.85	59.05	37.83

Efisiensi kinerja unit pengolahan dihitung berdasarkan nilai COD inlet dikurangi nilai COD outlet dibagi dengan nilai COD inlet. Hasil perhitungan kinerja unit pengolahan menunjukkan bahwa presentase efisiensi rata-rata pada bak equalisasi 1,45%, bak lumpur aktif 10,73%, bak sedimentasi 3,59%, dan bak klorinasi 38,83%. Pengolahan utama pada IPAL ini terletak pada proses lumpur aktif, sehingga dapat dilihat bahwa efisiensi unit lumpur aktif sangat kecil. Secara ideal proses lumpur aktif konvensional mempunyai efisiensi pengolahan sebesar 90% (Said, 2008). Beberapa kemungkinan faktor yang menyebabkan ketidak efektifan proses lumpur aktif di RSU Haji Surabaya adalah sebagai berikut :

1. Pencampuran limbah pada bak equalisasi kurang homogen. Untuk menampung air limbah dengan debit  $3,125 \text{ m}^3/\text{jam}$ , volume bak equalisasi yang ada sebesar  $2 \text{ m}^3$ , maka waktu tinggal air limbah dalam bak selama 0,64 jam (kriteria minimal 2 jam, menurut Metcalf and Eddy, 2003).

2. Proses pemompaan limbah kedalam bak lumpur aktif secara intermitten dengan menggunakan pompa summersibble yang dilengkapi level sensor air. Tidak ada pengaturan debit air limbah yang masuk dengan stabil. Hal ini meyebabkan beban limbah yang masuk ke dalam bak lumpur aktif seketika sangat besar, sehingga mempengaruhi aktifitas bakteri di dalam bak lumpur aktif (*shock loading*).
3. Transfer oksigen pada bak lumpur aktif tidak merata karena letak diffuser tidak berada pada dasar bak. Kondisi ini menyebabkan kebutuhan bakteri tidak terpenuhi, selain itu proses aerasi sekaligus pengadukan juga tidak berjalan dengan baik. Akibat perletakan diffuser yang tidak tepat ini menyebabkan terjadinya pengendapan lumpur pada bak lumpur aktif, bakteri banyak yang terdekomposisi di dasar bak dan menyebabkan kondisi anaerob.
4. Tidak adanya *Return Activated Sludge* (RAS) hal ini menyebabkan MLSS rendah karena sebagian bakteri yang masih hidup tidak dikembalikan ke dalam bak lumpur aktif. Proses pengolahan biologi hanya mengandalkan pertumbuhan bakteri baru pada bak lumpur aktif.

#### **4.3. *Fault Tree Analysis* (FTA)**

Penyebab penurunan kualitas efluen IPAL dapat dikarenakan beberapa hal yang telah dijelaskan diatas. Namun demikian belum diketahui secara jelas tingkat risiko dan faktor mana yang akan menjadi prioritas perbaikan.

*Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk menentukan penyebab potensial dari sebuah kejadian dalam suatu sistem, serta untuk mengestimasi probabilitas terjadinya sebuah kegagalan (Apsari, 2014). *Fault Tree* digambarkan dalam diagram logika yang merupakan konsep penyebab-penyebab kegagalan dalam suatu sistem. Diagram *Fault Tree Analysis* pada permasalahan ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.

##### **4.3.1 Penentuan Frekuensi dan *Likelihood***

Frekuensi merupakan jumlah kemungkinan atau peluang yang telah maupun diperkirakan akan terjadi. Penentuan frekuensi, *Likelihood*, dan *Consequence*

berdasarkan pada hasil wawancara, diskusi, kuisioner, pengamatan lapangan, dan ditunjang dengan data histori untuk mengestimasi kemungkinan tersebut.

Dalam menentukan frekuensi kejadian dan frekuensi proses dari setiap aspek risiko, ditentukan bersama-sama dengan instalasi sanitasi RSUD Haji Surabaya. Pihak yang terkait mulai dari pelaksana IPAL, koordinator penyehatan lingkungan, sekretaris instalasi, sampai dengan kepala instalasi sanitasi dimana mereka turut mengetahui kondisi riil di lapangan terkait operasional IPAL. Tabel 4.2 adalah range penilaian frekuensi proses dan frekuensi kejadian. Hasil penentuan frekuensi proses dan frekuensi kejadian dapat dilihat pada lembar kuisioner Lampiran E.

Tabel 4.2 Range Penilaian Frekuensi Proses dan Frekuensi Kejadian

Nilai	Frekuensi			Penjelasan
	Proses (Fp)	Kejadian (Fk)	Keterangan	
1	1 tahun	> 5 tahun	sangat jarang	Kegiatan yang dilakukan jarang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
2	3 bulan - 1 tahun	1 - 5 tahun	jarang	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan kecil dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
3	1 - 3 bulan	6 bulan - 1 tahun	sedang	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan sedang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
4	6 hari - 1 bulan	3 - 6 bulan	sering	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan besar kemungkinan dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
5	harian	1 - 3 bulan	selalu	Kegiatan yang dilakukan hampir pasti dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar. Merupakan peringkat tertinggi.

Sumber : Assesment Instalasi Sanitasi RSUD Haji Surabaya

*Likelihood* adalah frekuensi kegagalan untuk suatu risiko (Frame, 2003). Nilai tingkatan *Likelihood* dapat dilihat pada tabel 4.3. *Likelihood* merupakan kemungkinan risiko yang akan muncul, untuk menentukan *Likelihood* mengacu pada probabilitas yang akan diperoleh nantinya. Penentuan nilai *Likelihood* dimulai dari akar masalah kemudian meningkat menuju *top event* (puncak kejadian) risiko.

*Likelihood* kemudian digunakan untuk perhitungan dalam memetakan risiko yang telah teridentifikasi.

Tabel 4.3 Kategori dan Interval Nilai *Likelihood*

Kategori	Penjelasan	Range Nilai
Rare	Kegiatan yang dilakukan jarang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar	<10%
Unlikely	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan kecil dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan	11 – 30%
Moderate	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan sedang menimbulkan risiko terhadap lingkungan	31 – 60%
Likely	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan besar dapat menimbulkan risiko	61 – 80%
Almost Certain	Kegiatan yang dilakukan hampir menimbulkan risiko	>81%

Sumber : *The Government of Western Australian (1999)*

#### 4.3.2 Penentuan Probabilitas

Risiko dapat diartikan sebagai probabilitas terjadinya suatu kegiatan, yang apabila terjadi akan memiliki konsekuensi positif atau negatif terhadap kegiatan tersebut. Perhitungan probabilitas dilakukan dengan mengolah nilai frekuensi kejadian dan frekuensi proses yang telah ditetapkan dari setiap komponen akar kejadian dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{FP + FK}{\sum(FP + FK)}$$

Dimana :

P : Probabilitas

Fp : Frekuensi Proses

Fk : Frekuensi Kejadian

Nilai frekuensi kejadian dan frekuensi proses didapat dari data sekunder, pada faktor sumber daya manusia (SDM) menggunakan data antara lain :

1. Perhitungan analisa beban kerja instalasi sanitasi
2. Data pelatihan pegawai
3. Daftar kebutuhan standar operasional prosedur (SOP)

Pada faktor mesin atau peralatan, data yang digunakan untuk menentukan frekuensi proses dan frekuensi kejadian antara lain :

1. Buku manual peralatan mekanik (pompa, blower)
2. Data rekaman perbaikan peralatan mekanik IPAL
3. Ceklist pengawasan operasional IPAL

Pada faktor proses, data yang digunakan berasal dari perhitungan kriteria desain IPAL lumpur aktif, antara lain :

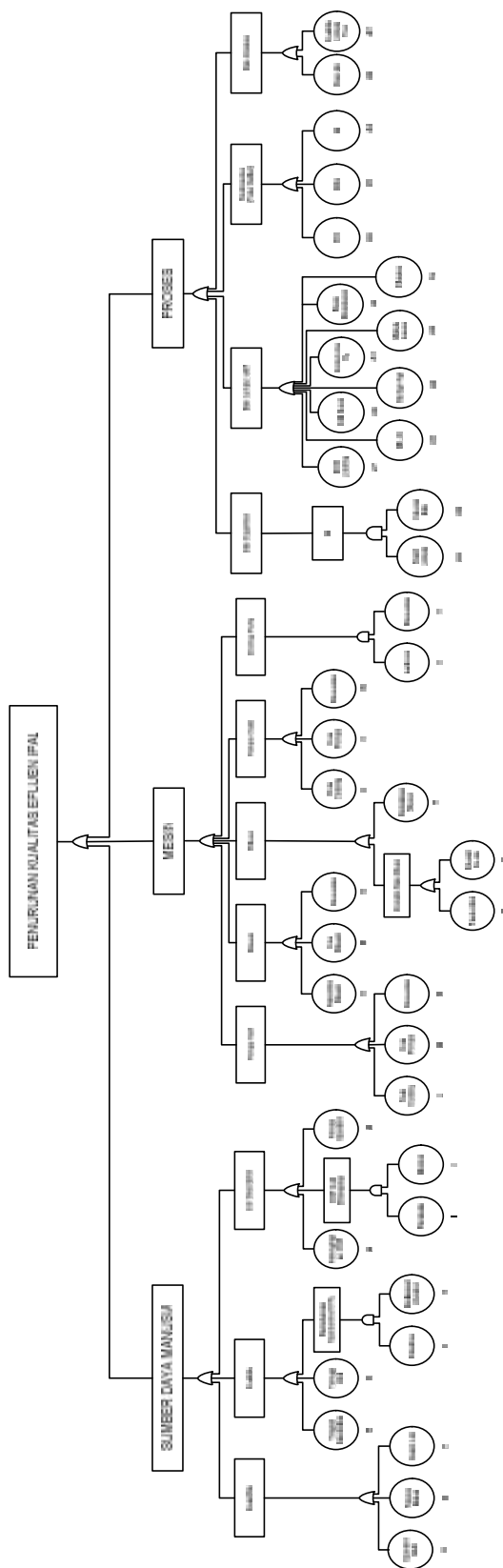
1. Beban BOD (*BOD Loading*)
2. *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS)
3. *Food/ Microorganism Ratio* (F/M Rasio)
4. Umur Lumpur (*Sludge Age*)
5. Kebutuhan Oksigen
6. Waktu aerasi
7. Rasio Resirkulasi Lumpur Aktif (RAS)
8. Serta efisiensi pengolahan itu sendiri

Selain itu hasil wawancara dan kuisioner juga digunakan untuk menunjang ketepatan nilai yang diperoleh dari data sekunder. Berikut contoh perhitungan probabilitas untuk sub komponen kalibrasi dosing pump pada faktor mesin/ peralatan, diperoleh assessment frekuensi proses 3 bulan – 1 tahun (bobot : 2), dan frekuensi kejadian lebih dari 5 tahun (bobot : 1). Total keseluruhan untuk frekuensi proses ( $F_p$ ) dan frekuensi kejadian ( $F_k$ ) yaitu 59 dan 47. Sehingga nilai probabilitasnya :

$$P = \frac{2+5}{59+47} = 7,22\%$$

Hasil penentuan frekuensi dan perhitungan presentase probabilitas setiap faktor dapat dilihat pada Tabel 4.4 untuk aspek sumber daya manusia, Tabel 4.5 untuk aspek mesin atau peralatan, dan Tabel 4.6 untuk aspek proses. Dari hasil probabilitas kemudian dimasukkan dalam formula matematis yang merupakan bentuk ekspresi logika kuantitatif dari analisis kualitatif *Fault Tree* yang dapat dilihat pada gambar 4.2.





Gambar 4.2 Diagram FTA Penurunan Kualitas Efluen IPAL

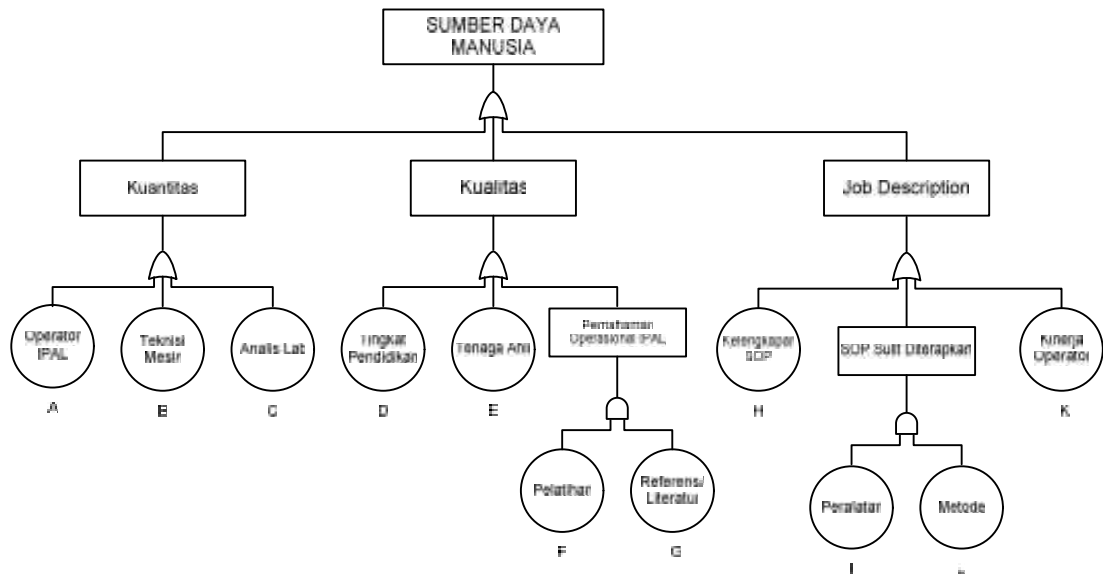
#### A. Faktor Sumber Daya Manusia (SDM)

Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor SDM dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Sumber Daya Manusia

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)
SDM	Kuantitas	Operator IPAL		A	5	5	12.35
		Teknisi Mesin		B	5	5	12.35
		Analisis Lab		C	5	5	12.35
	Kualitas	Tingkat Pendidikan		D	5	3	9.88
		Tenaga Ahli		E	2	1	3.70
		Pemahaman Operasional IPAL	Pelatihan	F	4	3	8.64
			Referensi/Literatur	G	4	2	7.41
	Job Description	Kelengkapan SOP		H	5	1	7.41
		SOP Sulit Diterapkan	Peralatan	I	5	1	7.41
			Metode	J	5	1	7.41
		Kinerja Operator		K	5	4	11.11
	JUMLAH				50	31	100.00

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis yang merupakan ekspresi logika dari analisis kualitatif. Pada Gambar 4.3 berikut merupakan *Fault Tree Diagram* yang digunakan untuk memperoleh formula matematis dari faktor SDM.



Gambar 4.3 Potongan *Fault Tree Diagram* pada faktor Sumber Daya Manusia

Formula matematis untuk faktor SDM adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{SDM} &= P_{kuantitas} + P_{kualitas} + P_{job\ description} \\
 &= \{P_{opt} + P_{Tek} + P_{anls}\} + \{P_{pend} + P_{ahli} + P_{ops}\} + \{P_{SOP} + P_{penerapan\ SOP} \\
 &\quad + P_{Kinerja\ opt}\} \\
 &= \{P_{opt} + P_{Tek} + P_{anls}\} + \{P_{pend} + P_{ahli} + (P_{plt} \times P_{lit})\} + \{P_{SOP} + (P_{alat} \\
 &\quad \times P_{Metode} + P_{Kinerja\ opt}\} \\
 &= \{0,12 + 0,12 + 0,12\} + \{0,1 + 0,04 + (0,09 \times 0,07)\} + \{0,07 + (0,07 \\
 &\quad \times 0,07) + 0,11\} \\
 &= 0,36 + 0,146 + 0,185 \\
 &= 0,691
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut maka besaran nilai faktor SDM adalah sebesar 0,691 atau 69,1 %. Pada range interval *Likelihood*, maka keseluruhan sub komponen pada faktor SDM termasuk kategori *likely*. Hal itu berarti faktor SDM merupakan faktor yang kemungkinan besar dapat menimbulkan risiko terhadap kualitas efluen limbah cair.

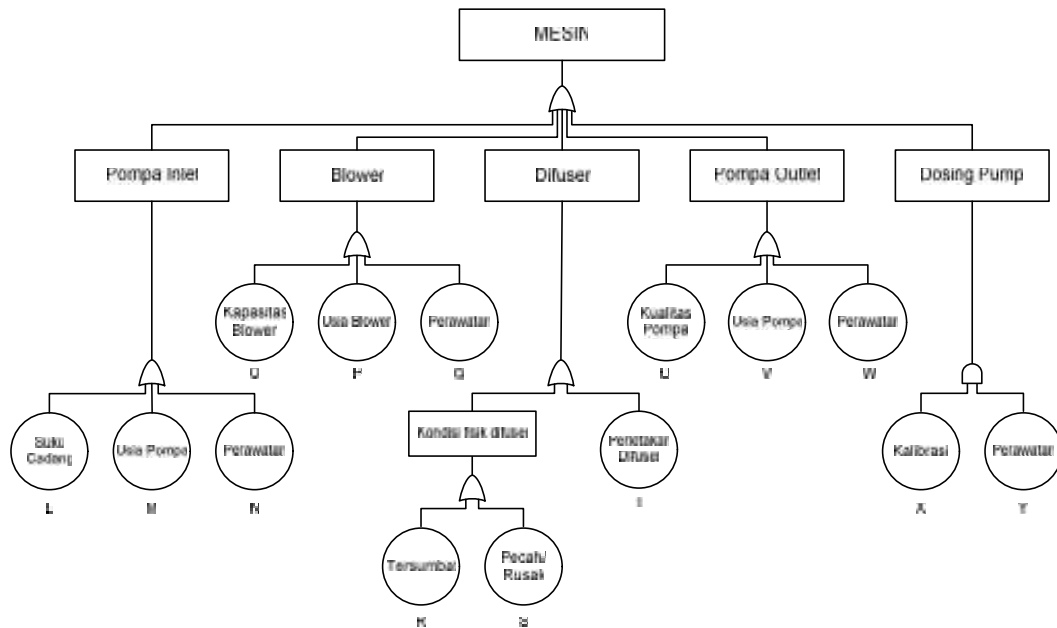
## B. Faktor Mesin atau peralatan

Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor Mesin atau peralatan dapat dilihat pada Tabel 4.5, dan potongan *Fault Tree Diagram* untuk faktor Mesin atau Peralatan dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Mesin atau Peralatan

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)
Mesin	Pompa Inlet	Suku Cadang		L	5	2	7.22
		Usia Pompa		M	5	1	6.19
		Perawatan		N	3	2	5.15
	Blower	Kapasitas Blower		O	5	2	7.22
		Usia Blower		P	5	2	7.22
		Perawatan		Q	3	4	7.22
	Difuser	Kondisi Fisik Difuser	Tersumbat	R	5	2	7.22
			Pecah/ rusak	S	5	2	7.22
		Perletakan Difuser		T	5	5	10.31
	Pompa Outlet	Suku Cadang		U	5	2	7.22
		Usia Pompa		V	5	1	6.19
		Perawatan		W	3	4	7.22
	Dosing Pump	Kalibrasi		X	2	5	7.22
		Perawatan		Y	3	4	7.22
JUMLAH					59	38	100.00

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis yang merupakan ekspresi logika dari analisis kualitatif. Pada Gambar 4.4 berikut merupakan *Fault Tree Diagram* yang digunakan untuk memperoleh formula matematis dari faktor Mesin atau Peralatan.



Gambar 4.4 Potongan *Fault Tree Diagram* pada faktor Mesin atau Peralatan

Formula matematis untuk faktor Mesin atau peralatan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{mesin}} &= P_{\text{pompa inlet}} + P_{\text{blower}} + P_{\text{diffuser}} + P_{\text{pompa outlet}} + P_{\text{dosing pump}} \\
 &= \{P_{\text{part}} + P_{\text{usia}} + P_{\text{prwtn}}\} + \{P_{\text{kapasitas}} + P_{\text{usia}} + P_{\text{prwtn}}\} + \{P_{\text{kond}} + P_{\text{letak}}\} \\
 &\quad + \{P_{\text{kualitas}} + P_{\text{usia}} + P_{\text{prwtn}}\} + \{P_{\text{kalibrasi}} \times P_{\text{prwtn}}\} \\
 &= \{P_{\text{kual}} + P_{\text{usia}} + P_{\text{prwtn}}\} + \{P_{\text{kapasitas}} + P_{\text{usia}} + P_{\text{prwtn}}\} + \{(P_{\text{tersumbat}} \\
 &\quad + P_{\text{rusak}}) + P_{\text{perletakan}}\} + \{P_{\text{kualitas}} + P_{\text{usia}} + P_{\text{prwtn}}\} + \{P_{\text{kalibrasi}} \times P_{\text{prwtn}}\} \\
 &= \{0,07 + 0,06 + 0,05\} + \{0,07 + 0,07 + 0,07\} + \{(0,07 + 0,07) + 0,1\} \\
 &\quad + \{0,07 + 0,06 + 0,07\} + \{0,07 \times 0,07\} \\
 &= 0,18 + 0,21 + 0,24 + 0,2 + 0,0049 \\
 &= 0,83
 \end{aligned}$$

Besaran nilai faktor Mesin atau Peralatan yaitu mencapai 0,83 atau 83 %, dimana tergolong kategori *almost certain* para range interval *Likelihood*. *Almost certain* merupakan peringkat risiko tertinggi pada *Likelihood*. Hal itu berarti aspek Mesin atau Peralatan hampir pasti menimbulkan risiko terhadap kualitas efluen limbah cair.

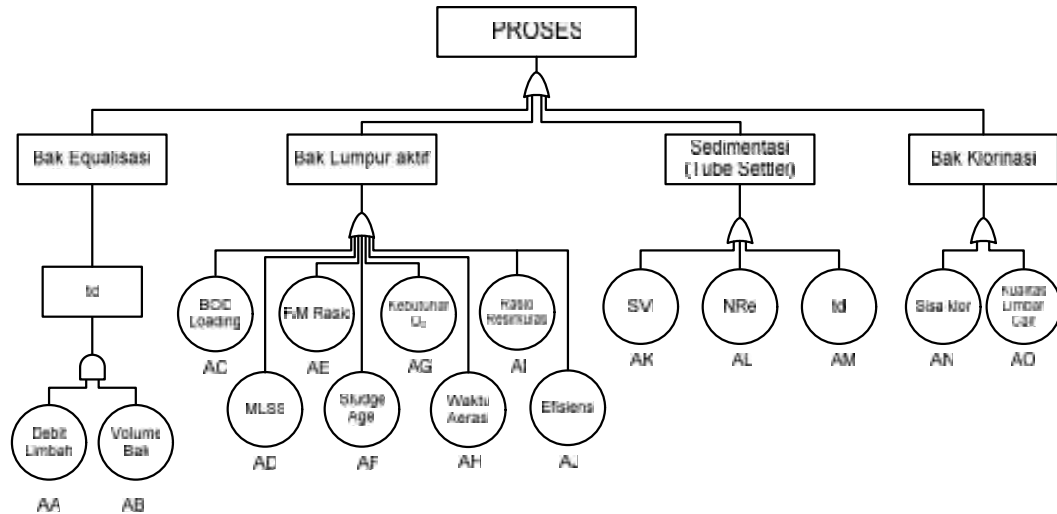
### C. Faktor Proses

Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor Proses dapat dilihat pada Tabel 4.6, dan potongan *Fault Tree Diagram* untuk faktor Proses dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Proses

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)
Proses	Bak Equalisasi	Waktu Tinggal (td)	Debit Limbah	AA	5	2	5.88
			Volume Bak	AB	5	1	5.04
	Bak Lumpur Aktif	BOD Loading		AC	5	1	5.04
		MLSS		AD	5	5	8.40
		F/M Rasio		AE	5	5	8.40
		Sludge Age		AF	5	5	8.40
		Kebutuhan O <sub>2</sub>		AG	5	1	5.04
		Waktu Aerasi		AH	5	1	5.04
		Rasio Resirkulasi		AI	5	5	8.40
		Efisiensi		AJ	5	5	8.40
	Bak Sedimentasi (Tube Settler)	Sludge Volume Index (SVI)		AK	5	5	8.40
		Reynold Number (NRe)		AL	5	1	5.04
		Waktu Tinggal (td)		AM	5	1	5.04
	Bak Klorinasi	Sisa klor		AN	5	5	8.40
		Kualitas Limbah Cair		AO	5	1	5.04
JUMLAH					75	44	100.00

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis yang merupakan ekspresi logika dari analisis kualitatif. Pada Gambar 4.5 berikut merupakan *Fault Tree Diagram* yang digunakan untuk memperoleh formula matematis dari faktor Proses.



Gambar 4.5 Potongan *Fault Tree Diagram* pada faktor Proses

Formula matematis untuk faktor Proses adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{proses}} &= P_{\text{eq}} + P_{\text{AS}} + P_{\text{sed}} + P_{\text{klor}} \\
 &= \{P_{\text{td}}\} + \{P_{\text{BOD}} + P_{\text{MLSS}} + P_{\text{F/M}} + P_{\text{S.Age}} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{t.aerasi}} + P_{\text{RAS}} \\
 &\quad + P_{\text{efs}}\} + \{P_{\text{SVI}} + P_{\text{NRe}} + P_{\text{td}}\} + \{P_{\text{klor}} + P_{\text{kualitas}}\} \\
 &= \{P_Q \times P_{\text{vol}}\} + \{P_{\text{BOD}} + P_{\text{MLSS}} + P_{\text{F/M}} + P_{\text{S.Age}} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{t.aerasi}} + P_{\text{RAS}} \\
 &\quad + P_{\text{efs}}\} + \{P_{\text{SVI}} + P_{\text{NRe}} + P_{\text{td}}\} + \{P_{\text{klor}} + P_{\text{kualitas}}\} \\
 &= \{0,06 \times 0,05\} + \{0,05 + 0,08 + 0,08 + 0,08 + 0,05 + 0,05 + 0,08 + 0,08\} \\
 &\quad + \{0,08 + 0,05 + 0,05\} + \{0,08 + 0,05\} \\
 &= 0,003 + 0,55 + 0,18 + 0,13 \\
 &= 0,863
 \end{aligned}$$

Besaran nilai faktor Proses yaitu mencapai 0,863 atau 86,3 %, dimana tergolong kategori *almost certain* para range interval *Likelihood*. *Almost certain* merupakan peringkat risiko tertinggi pada *Likelihood*. Hal itu berarti aspek Proses hampir pasti menimbulkan risiko terhadap kualitas efluen limbah cair RSU Haji Surabaya.

#### 4.3.3 Penentuan *Consequence*

*Consequence* adalah suatu akibat atau dampak dari suatu kejadian yang biasanya diekspresikan sebagai kerugian dari suatu kejadian. Penentuan *Consequence* mengacu pada data rekaman sasaran mutu instalasi sanitasi yang meliputi pemenuhan jumlah SDM, hasil analisa laboratorium efluen limbah cair, serta perhitungan efisiensi mesin dan unit operasi pada IPAL lumpur aktif. Perhitungan nilai *Consequence* diambil dari setiap faktor yang ada pada *Fault Tree Diagram*. Formula dan data yang digunakan dalam perhitungan nilai *Consequence* pada setiap faktor risiko dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Formula dan Sumber Data Dalam Perhitungan *Consequence*

Faktor	Sub Faktor	Formula yang digunakan	Sumber Data
SDM	Kuantitas	$\frac{\sum \text{SDM yang kurang}}{\sum \text{SDM sesuai ABK}} \times 100\%$	Analisis Beban Kerja
	Kualitas	$\frac{\sum \text{SDM yang belum ikut pelatihan}}{\sum \text{SDM terkait operasional IPAL}} \times 100\%$	Data Pelatihan pegawai
	Job Descriptoin	$\frac{\sum \text{SOP yang kurang}}{\sum \text{SOP ideal yang diperlukan}} \times 100\%$	Daftar SOP Instalasi Sanitasi
Mesin/ peralatan	Pompa Inlet	$\frac{Q \text{ spesifikasi} - Q \text{ eksisting}}{Q \text{ spesifikasi}} \times 100\%$	Buku manual, data rekaman
	Blower	$\frac{Q \text{ spesifikasi} - Q \text{ eksisting}}{Q \text{ spesifikasi}} \times 100\%$	
	Difuser	$\frac{\sum \text{difuser yang rusak}}{\sum \text{total difuser}} \times 100\%$	
	Pompa Outlet	$\frac{Q \text{ spesifikasi} - Q \text{ eksisting}}{Q \text{ spesifikasi}} \times 100\%$	
	Dosing Pump	$\frac{Q \text{ spesifikasi} - Q \text{ eksisting}}{Q \text{ spesifikasi}} \times 100\%$	
Proses	Equalisasi	$\frac{\text{Efisiensi Std} - \text{Efisiensi eksisting}}{\text{Efisiensi Std}} \times 100\%$	Hasil Analisa Laboratorium Eksternal dan Internal
	Lumpur Aktif	$\frac{\text{Efisiensi Std} - \text{Efisiensi eksisting}}{\text{Efisiensi Std}} \times 100\%$	
	Sedimentasi	$\frac{\text{Efisiensi Std} - \text{Efisiensi eksisting}}{\text{Efisiensi Std}} \times 100\%$	
	Klorinasi	$\frac{\text{Efisiensi Std} - \text{Efisiensi eksisting}}{\text{Efisiensi Std}} \times 100\%$	



Besaran *Consequence* dari risiko ditentukan berdasarkan banyaknya data yang belum mencapai kondisi ideal. Adapun hasil perhitungan besaran *Consequence* adalah sebagai berikut :

#### Faktor Sumber Daya Manusia

$$\text{Consequence Kuantitas} = \frac{9}{20} \times 100\% = 45\% \quad (\text{Medium})$$

$$\text{Consequence Kualitas} = \frac{2}{5} \times 100\% = 40\% \quad (\text{Medium})$$

$$\text{Consequence Job Description} = \frac{9}{11} \times 100\% = 82\% \quad (\text{Extreme})$$

#### Faktor Mesin atau Peralatan

$$\text{Consequence Pompa Inlet} = \frac{10-8,12}{10} \times 100\% = 18,8\% \quad (\text{Low})$$

$$\text{Consequence Blower} = \frac{6,2-5,8}{6,2} \times 100\% = 6,6\% \quad (\text{Negligible})$$

$$\text{Consequence Difuser} = \frac{28}{54} \times 100\% = 52\% \quad (\text{Medium})$$

$$\text{Consequence Pompa Outlet} = \frac{10-8,1}{10} \times 100\% = 18,8\% \quad (\text{Low})$$

$$\text{Consequence Dosing Pump} = \frac{3,9-3,5}{3,9} \times 100\% = 10,3\% \quad (\text{Low})$$

#### Faktor Proses

$$\text{Consequence Equalisasi} = \frac{5\% - \left( \frac{336-331,2}{336} \times 100\% \right)}{5\%} \times 100\% = 72\% \quad (\text{High})$$

$$\text{Consequence Lumpur Aktif} = \frac{90\% - \left( \frac{331,2-298}{331,2} \times 100\% \right)}{90\%} \times 100\% = 88\% \quad (\text{Extreme})$$

$$\text{Consequence Sedimentasi} = \frac{10\% - \left( \frac{298-288}{298} \times 100\% \right)}{10\%} \times 100\% = 68\% \quad (\text{High})$$

$$\text{Consequence Klorinasi} = \frac{90\% - \left( \frac{10000-3500}{10000} \times 100\% \right)}{90\%} \times 100\% = 27\% \quad (\text{Low})$$

Dari hasil perhitungan *Consequence* diatas, nilai yang didapatkan di plot sesuai Tabel 4.8 yaitu kategori dan interval nilai *Consequence*, sehingga didapatkan kategori *Consequence* pada setiap faktor yang dinilai.

Tabel 4.8 Kategori dan Interval Nilai *Consequence*

Kategori	Penjelasan	Range Nilai
Negligible	Konsekuensi risiko yang terjadi tidak perlu dikuatirkan	<10%
Low	Konsekuensi risiko kecil tetapi perlu adanya usaha penanganan untuk mengurangi risiko yang terjadi seperti penanganan di tempat	11 – 30%
Medium	Konsekuensi risiko sedang oleh karena itu perlu adanya pengelolaan berdasarkan prosedur normal	31 – 60%
High	Konsekuensi risiko yang terjadi relatif besar terhadap lingkungan oleh karena itu perlu adanya pengelolaan yang intensif dalam penanganan	61 – 80%
Extreme	Konsekuensi risiko yang terjadi sangat besar	>81%

Sumber : *The Government of Western Australian (1999)*

Hasil dari perhitungan setelah dikategorikan sesuai dengan range nilai yang diperoleh, nilai *Consequence* atau dampak terbesar dengan kategori *Extreme* terdapat pada faktor SDM (komponen *Job Description*) dan faktor proses IPAL (komponen Lumpur Aktif). Kategori *High* terdapat pada faktor proses IPAL khususnya komponen equalisasi dan sedimentasi. Kategori *Medium* terdapat pada faktor SDM khususnya faktor kuantitas dan kualitas, serta faktor mesin atau peralatan pada komponen difuser. Kategori *Low* terdapat pada faktor Mesin khususnya komponen pompa outlet dan dosing pump, serta faktor proses pada komponen klorinasi. Dan kategori paling rendah yaitu *Negligible* terdapat pada faktor Mesin khususnya komponen blower.

*Likelihood* merupakan kemungkinan dalam satu periode waktu dari dari suatu risiko tersebut akan muncul. *Consequence* merupakan suatu dampak atau kejadian dari suatu kegiatan. Perhitungan risiko dapat dirumuskan sebagai perkalian antara nilai *Likelihood* dan *Consequence*. Analisis risiko mencakup pertimbangan mengenai sumber risiko, konsekuensi, dan kemungkinan dari risiko tersebut. Rekapitulasi penilaian risiko secara keseluruhan berdasarkan probabilitas dan konsekuensi dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Penilaian Risiko

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kategori Probability	Kategori Consequence	Kategori Risiko
SDM	Kuantitas	Opt. IPAL		AlmostCertain	Medium	High
		Teknisi Mesin		AlmostCertain	Medium	High
		Analisis Lab		AlmostCertain	Medium	High
	Kualitas	Tk. Pendidikan		Moderate	Medium	Significant
		Tenaga Ahli		Moderate	Medium	Significant
		Pemahaman Oprs. IPAL	Pelatihan	Likely	Medium	Major
			Literatur	Moderate	Medium	Significant
	Job Description	Ketersediaan SOP		Unlikely	Extreme	Major
		SOP Sulit Diterapkan	Peralatan	Unlikely	Extreme	Major
			Metode	Unlikely	Extreme	Major
		Kinerja Opt.		Likely	Extreme	Severe
Mesin	Pompa Inlet	Suku Cadang		Moderate	Low	Moderate
		Usia Pompa		Unlikely	Low	Low
		Perawatan		Likely	Low	Significant
	Blower	Q Blower		Moderate	Negligable	Trivial
		Usia Blower		Moderate	Negligable	Trivial
		Perawatan		AlmostCertain	Negligable	Trivial
	Difuser	Kondisi Fisik Difuser	Tersumbat	Moderate	Medium	Significant
			Pecah/ rusak	Moderate	Medium	Significant
		Letakan Difuser		AlmostCertain	Medium	High
	Pompa Outlet	Suku Cadang		Moderate	Low	Moderate
		Usia Pompa		Unlikely	Low	Low
		Perawatan		AlmostCertain	Low	Major
	Dosing Pump	Kalibrasi		AlmostCertain	Negligable	Trivial
		Perawatan		AlmostCertain	Negligable	Trivial
Proses	Bak Equalisasi	Waktu Tinggal (td)	Q Limbah	Moderate	High	Major
			Volume Bak	Unlikely	High	Significant
	Bak Lumpur Aktif	BOD Loading		Unlikely	Extreme	Major
		MLSS		AlmostCertain	Extreme	Severe
		F/M Rasio		AlmostCertain	Extreme	Severe
		Sludge Age		AlmostCertain	Extreme	Severe
		Kebutuhan O <sub>2</sub>		Unlikely	Extreme	Major
		Waktu Aerasi		Unlikely	Extreme	Major
		Rasio Resirkulasi		AlmostCertain	Extreme	Severe
		Efisiensi		AlmostCertain	Extreme	Severe
	Bak Sedimentasi (Tube Settler)	SVI		AlmostCertain	High	Severe
		Nre		Unlikely	High	Significant
		Waktu Tinggal (td)		Unlikely	High	Significant
	Bak Klorinasi	Sisa klor		AlmostCertain	Low	Major
		Kualitas Limbah		Unlikely	Low	Low

Tabel rekapitulasi penilaian risiko diatas menjelaskan kategori risiko pada setiap sub faktor. Pada faktor SDM, sub faktor kuantitas operator IPAL kategori *probability almost certain* dan kategori *consequence medium*, apabila di plot pada matrik, maka termasuk kategori risiko *high*. Hal ini dilakukan pada setiap sub faktor yang telah diketahui kategori *probability* dan *consequence* masing-masing.

#### 4.3.4 Pemetaan Risiko

Hasil perhitungan *Likelihood* dan *Consequence* di atas diplot pada matrik kategori tingkatan risiko dengan sumbu X adalah *Consequence* dan sumbu Y adalah *Likelihood*, maka apabila digambarkan pada peta risiko pada aspek atau faktor SDM dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Matrik Kategori Risiko Pada Faktor SDM

SDM		<i>Consequence</i>				
		<b>Extreme</b>	<b>High</b>	<b>Medium</b>	<b>Low</b>	<b>Negligable</b>
<i>Likelihood</i>	<i>Almost Certain</i>	<u>Severe</u>	<u>Severe</u>	<u>High</u>	<u>Major</u>	<u>Trivial</u>
				Operator IPAL Teknisi Mesin Analisis Lab		
	<i>Likely</i>	<u>Severe</u>	<u>High</u>	<u>Major</u>	<u>Significant</u>	<u>Trivial</u>
		Kinerja Operator		Pelatihan		
	<i>Moderate</i>	<u>High</u>	<u>Major</u>	<u>Significant</u>	<u>Moderate</u>	<u>Trivial</u>
				Tk.Pendidikan Tenaga Ahli Literatur		
	<i>Unlikely</i>	<u>Major</u>	<u>Significant</u>	<u>Moderate</u>	<u>Low</u>	<u>Trivial</u>
		Ketersediaan SOP Peralatan Metode				
	<i>Rare</i>	<u>Significant</u>	<u>Moderate</u>	<u>Low</u>	<u>Trivial</u>	<u>Trivial</u>

Dari hasil pemetaan diatas diperoleh bahwa risiko tertinggi pada faktor SDM yaitu kategori *Severe* terdapat pada sub faktor Kinerja Operator. Risiko ini harus dikelola dengan rencana yang detail serta mendapat perhatian dari manajemen. Risiko dengan kategori *High* terdapat pada sub faktor Operator IPAL, Teknisi Mesin, dan Analisis Laboratorium, dimana tidak adanya tenaga khusus untuk posisi tersebut. Risiko dengan kategori *Major* terdapat pada sub faktor kurangnya Pelatihan SDM, kurang lengkapnya SOP, Peralatan, serta Metode yang digunakan dalam operasional IPAL kurang memenuhi standar. Serta risiko dengan kategori *Significant* terdapat pada sub faktor Tingkat Pendidikan, Tenaga Ahli, dan Literatur yang kurang mendukung.

Tabel 4.11 Matrik Kategori Risiko Pada Faktor Mesin

MESIN		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligable
Likelihood	Almost Certain	Severe	Severe	High	Major	Trivial
				Letak Difuser	Perawatan Pompa Outlet	Perawatan Blower, Kalibrasi dan Perawatan Dosing Pump
	Likely	Severe	High	Major	Significant	Trivial
					Perawatan Pompa Inlet	
	Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
				Difuser Tersumbat, Pecah	Suku cadang pompa Inlet & Outlet	Kapasitas & Usia Blower
	Unlikely	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial
					Usia Pompa Inlet dan Outlet	
	Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Dari hasil pemetaan diatas diperoleh bahwa risiko tertinggi pada faktor Mesin yaitu kategori *High* terdapat pada sub faktor Perletakan Difuser. Kondisi eksisting letak diffuser berada melayang di tengah bak, sehingga menyebabkan proses aerasi dan pengadukan lumpur aktif tidak merata.

Risiko dengan kategori *Major* terdapat pada sub faktor Perawatan Pompa Outlet, dimana tidak adanya jadwal rutin untuk perawatan pompa outlet. Risiko dengan kategori *Significant* terdapat pada sub faktor Perawatan pompa Inlet serta kondisi Difuser yang Tersumbat dan Pecah. Hal ini dikarenakan juga karena tidak adanya jadwal rutin perawatan pompa inlet, serta bahan diffuser yang dipakai terbuat dari plastik, sehingga mudah pecah apabila terkena tekanan dan kecepatan aliran air yang besar.

Risiko dengan kategori *Moderate* terdapat pada sub faktor tidak adanya Suku Cadang Pompa Inlet dan Outlet, sehingga pada saat pompa mengalami kerusakan, perbaikan memerlukan waktu yang lama.

Risiko dengan kategori *Low* terdapat pada sub faktor Usia Pompa Inlet dan Outlet. Sedangkan risiko dengan kategori *Trivial* terdapat pada sub faktor Perawatan Blower, Kapasitas dan Usia Blower, serta Kalibrasi dan Perawatan

Dosing Pump, karena perawatan mesin yang rutin akan mempengaruhi performa atau kinerja mesin itu sendiri.

Tabel 4.12 Matrik Kategori Risiko Pada Faktor Proses

PROSES		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligable
Likelihood	Almost Certain	Severe	Severe	High	Major	Trivial
		MLSS, F/M Rasio, Sludge Age, Rasio Resirkulasi, Efisiensi AS	Sludge Volume Index (SVI)		Sisa Klor	
	Likely	Severe	High	Major	Significant	Trivial
	Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
			Debit Limbah			
	Unlikely	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial
		BOD Loading, Kebutuhan O <sub>2</sub> , Waktu Aerasi	Vol.Equalisasi, Nre dan td Sedimentasi			
	Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Dari hasil pemetaan diatas diperoleh bahwa risiko tertinggi pada faktor Proses IPAL yaitu kategori *Severe* terdapat pada sub faktor *MLSS*, *F/M Rasio*, *Sludge Age*, *Rasio Resirkulasi*, *Efisiensi AS*, dan *Sludge Volume Index (SVI)* dimana semua kriteria proses tersebut belum terpenuhi nilainya. Risiko ini memerlukan perencanaan pada tingkat senior, karena konsekuensinya mengancam kelangsungan kinerja proses IPAL.

Risiko dengan kategori *Major* terdapat pada sub faktor *Sisa Klor*, *Debit Limbah*, *BOD Loading*, *Kebutuhan O<sub>2</sub>* dan *Waktu Aerasi*. Risiko ini memerlukan perhatian manajemen senior, karena konsekuensinya akan memperburuk suatu aktifitas atau operasi.

Risiko dengan kategori *Significant* terdapat pada sub faktor *Volume Bak Equalisasi*, serta nilai *NRe* dan *Waktu Tinggal (td)* *Bak Sedimentasi*. Risiko ini memerlukan alokasi tanggung jawab manajemen yang spesifik. Risiko yang telah dipetakan tersebut akan dilakukan tindakan mitigasi untuk meminimalisasi potensi risiko yang akan ditimbulkan.

#### 4.4. Optimasi dan Strategi Mitigasi

Berdasarkan hasil analisis dan pemetaan kriteria tingkatan risiko, diperoleh risiko dengan kategori *Severe* yaitu faktor yang paling penting dalam pencapaian kualitas efluen IPAL RSUD Haji Surabaya adalah pembenahan pada proses IPAL, terutama pada unit lumpur aktif dan sedimentasi beberapa nilai standar kriteria proses belum tercapai, diantaranya *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS), *Food/ Microorganism* (F/M rasio), *Sludge Age*, Rasio Resirkulasi (RAS), Efisiensi sistem lumpur aktif, dan *Sludge Volume Index* (SVI). Selain itu juga memerlukan perhatian pada faktor SDM utamanya terkait kinerja operator. Kegiatan pengendalian proses IPAL masih kurang konsisten dikarenakan belum ada operator khusus yang bertugas mengendalikan proses IPAL. Faktor proses IPAL memiliki nilai *Likelihood* sebesar 0,863 atau 86,3%, sedangkan faktor SDM memiliki nilai *Likelihood* sebesar 0,691 atau 69,1% sehingga prioritas optimasi dilakukan pada ketujuh sub komponen dari faktor risiko tersebut.

Prioritas komponen faktor risiko dapat ditentukan berdasarkan probabilitas kejadian terbesar agar diperoleh tindakan optimasi yang tepat. Penentuan nilai presentase probabilitas tertinggi dari masing-masing sub faktor yaitu berdasarkan dari perhitungan presentase probabilitas. Nilai presentase probabilitas sub faktor *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS), *Food/ Microorganism* (F/M rasio), *Sludge Age*, Rasio Resirkulasi (RAS), Efisiensi sistem lumpur aktif, dan *Sludge Volume Index* (SVI) sebesar 100%. Sedangkan nilai pada sub faktor Kinerja operator sebesar 80%.

Setelah diketahui faktor penyebab masalah berdasarkan tingkat kategori, peringkat, dan probabilitasnya, maka cara yang akan digunakan sebagai optimasi yaitu dengan melakukan mitigasi risiko. Langkah mitigasi risiko merupakan penanganan risiko sebagai strategi untuk mengurangi frekuensi terjadinya risiko serta mencegah timbulnya potensi risiko yang lain. Tindakan optimasi lebih fokus dilakukan pada sub faktor level terakhir (*minimal cut set*), atau pada akar penyebab masalah yang telah teridentifikasi pada FTA. Prioritas tindakan mitigasi risiko sebagai langkah optimasi yang dapat direkomendasikan diantaranya adalah sebagai berikut :

#### A. Kategori *Severe*

1. Kinerja operator yang baik secara tidak langsung akan mempengaruhi proses IPAL. Pada pengolahan biologi konsistensi kinerja operator sangat diperlukan untuk menjaga kondisi lumpur aktif agar tetap normal. RSUD Haji Surabaya tidak mempunyai operator khusus untuk operasional IPAL. Tindakan optimasi yang direkomendasikan adalah melakukan evaluasi dan perhitungan kembali analisis beban kerja pegawai (data pada lampiran D) untuk menentukan kekurangan SDM terkait operasional IPAL. Selain itu juga dilakukan evaluasi kinerja operator di lapangan oleh staf terkait dan dilaporkan berkala kepada kepala instalasi. Keterlibatan atasan langsung dalam mengawasi dan memonitor kinerja operator sangat penting, karena kurangnya perhatian atasan langsung akan mempengaruhi konsistensi kinerja operator yang akan berdampak pada kinerja IPAL.
2. Nilai *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS), *Food/ Microorganism* (F/M rasio), *Sludge Age*, Efisiensi sistem lumpur aktif, dan *Sludge Volume Index* (SVI) merupakan satu keterkaitan, sangat dipengaruhi oleh rasio resirkulasi lumpur aktif (RAS) dimana indikator-indikator tersebut sangat menentukan kualitas efluen limbah cair yang diolah dalam IPAL. Untuk menjaga nilai MLSS, F/M, *Sludge Age*, SVI, dan efisiensi pengolahan tetap normal, unit lumpur aktif harus selalu memenuhi kriteria rasio resirkulasi lumpur aktif (RAS) yaitu 20 – 40% (Said, 2008). Tindakan optimasi yang direkomendasikan yaitu melakukan seeding ulang untuk menumbuhkan bakteri baru pada bak lumpur aktif. Dilanjutkan dengan memasang pompa resirkulasi lumpur aktif dengan kapasitas minimum 1,375 m<sup>3</sup>/jam atau 23 liter/ menit. Dengan adanya penambahan pompa ini diharapkan nilai MLSS akan meningkat dengan mengembalikan sebagian lumpur aktif ke dalam reaktor.

#### B. Kategori *High*

1. Kuantitas atau jumlah SDM yang kurang terutama pada posisi operator IPAL, teknisi mesin atau petugas perbaikan, dan analis laboratorium dapat



menyebabkan proses operasional IPAL terganggu. Dari data perhitungan analisis beban kerja instalasi sanitasi yang idealnya berjumlah 29 orang, saat ini hanya terdapat 20 orang (data analisis beban kerja pada lampiran D). Kondisi eksisting, tugas operator IPAL dirangkap oleh petugas kebersihan. Tindakan optimasi yang direkomendasikan yaitu mengusulkan penambahan SDM terutama pada ketiga posisi tersebut.

2. Perletakan diffuser pada bak lumpur aktif merupakan komponen yang memperoleh kategori *High*, dimana risiko ini memerlukan perhatian, penelitian, dan perencanaan lebih detail pada tingkat manajemen senior, karena konkuensinya mengancam keberlangsungan suatu operasional IPAL. Tindakan optimasi yang direkomendasikan adalah merubah letak difuser lebih dalam dengan jarak 20 cm dari dasar bak, menyesuaikan dengan gambar pada desain awal (gambar pada lampiran J). Hal ini bertujuan agar proses aerasi atau transfer oksigen pada proses lumpur aktif dapat berjalan optimal. Dengan posisi diffuser berada pada dasar bak, maka perjalanan udara dari ujung diffuser menuju ke permukaan air lebih panjang. Dengan demikian maka waktu kontak udara dengan air akan lebih lama. Selain itu proses pengadukan oleh blower akan terjadi merata sampai dasar bak, sehingga mengurangi terjadinya pengendapan pada reaktor lumpur aktif.

### C. Kategori *Major*

1. Pemahaman operator terkait operasional perlu ditingkatkan dengan memberi pelatihan, seminar, atau workshop. Sampai saat ini pelatihan yang didapat masih jarang. Pada tahun 2011 sampai 2013 frekuensi pelatihan yang diikuti 2 kali untuk 2 orang secara bergantian, sehingga pemahaman terkait sistem dan operasional IPAL masih minim. Tindakan optimasi yang direkomendasikan adalah merencanakan program pelatihan setiap tahunnya untuk operator IPAL.

2. Prosedur kerja (SOP) perlu adanya penambahan prosedur dan instruksi kerja yang lebih detail. SOP yang dibuat hendaknya mengacu pada metode sesuai standar, apabila terkendala pada peralatan maka metode yang dibuat dalam SOP dapat menyesuaikan dengan peralatan yang telah ada.
3. Terkait proses, debit limbah yang masuk ke proses perlu dilakukan pengaturan agar konstan dengan mengurangi kapasitas pompa sesuai debit limbah harian rata-rata yaitu  $75 \text{ m}^3/\text{hari}$  (data pada lampiran F). Dengan demikian proses biologi tidak sering mengalami shock loading dengan kinerja pompa inlet yang intermitten karena kapasitas pompa yang terlalu besar yaitu 1000 liter/ menit (spesifikasi pada lampiran J). Untuk memenuhi kebutuhan  $\text{O}_2$ , maka perlu dilakukan perawatan blower dan jaringan pipa diffuser secara berkala. Kalibrasi dosing pump juga hendaknya dijadwalkan minimal 1 tahun sekali (sesuai petunjuk buku manual dosing pump) untuk memastikan dosis injeksi sesuai sehingga sisa klor tidak melebihi baku mutu.

#### D. Kategori *Significant*

1. Tingkat pendidikan SDM hendaknya disesuaikan sesuai posisinya melalui persyaratan rekrutment. Menyiapkan tenaga ahli pengolahan limbah cair dengan meningkatkan kompetensi melalui pelatihan, seminar, dan workshop, serta menambah referensi atau literatur.
2. Merencanakan perawatan berkala terhadap peralatan pompa inlet, dan kondisi difuser. Kondisi saat ini banyak yang mengalami kerusakan seperti pecah ataupun kepala diffuser hilang. Dari total keseluruhan 54 difuser, 28 diantaranya mengalami kerusakan. Kondisi ini menyebabkan pembentukan gelembung- gelembung udara tidak merata, sehingga menyebabkan transfer oksigen pada proses lumpur aktif kurang optimal. Dengan kondisi tersebut, maka perlu adanya perbaikan sistem jaringan perpipaan dan penggantian bahan diffuser selain dari plastik agar lebih kuat terhadap tekanan dan arliran air di dasar bak.

3. Pada bak equalisasi perlu penambahan volume agar waktu tinggal (td) air limbah memenuhi kriteria (perhitungan pada lampiran H). Volume yang direkomendasikan adalah sebesar 8 m<sup>3</sup>, sehingga waktu tinggal mencapai 2-4 jam cukup untuk menyeimbangkan debit limbah cair yang akan dipompa ke bak lumpur aktif. Pada bak sedimentasi perlu dilakukan pengecekan berkala saluran dari bak lumpur aktif serta debit limbah untuk menjaga aliran agar tetap laminar dan waktu tinggal pada bak sedimentasi tetap sesuai kriteria.

#### E. Kategori *Moderate*

Menyiapkan suku cadang pompa inlet dan outlet yang sering mengalami kerusakan, sehingga perbaikan dapat segera dilakukan. Atau dapat pula menyediakan pompa cadangan, sehingga pada saat perbaikan, pompa pengganti dapat digunakan terlebih dahulu.

#### F. Kategori *Low*

Terdapat pada sub faktor usia pompa inlet dan outlet, maka tindakan optimasinya perlu dilakukan pemantauan efisiensi kinerja pompa melalui flow meter, untuk mengetahui penurunan kapasitas pompa.

#### G. Kategori *Trivial*

Tindakan optimasi yang direkomendasikan adalah membuat jadwal rencana perawatan blower dan dosing pump untuk menjaga efisiensi kinerja peralatan tersebut. Khusus dosing pump perlu rencana jadwal kalibrasi minimal 1 tahun sekali (sesuai petunjuk buku manual dosing pump) untuk memastikan dosis injeksi sesuai dengan beban limbah yang akan didisinfeksi.

Secara menyeluruh, detail tindakan mitigasi yang direkomendasikan dari seluruh faktor risiko dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Rekomendasi Tindakan Mitigasi

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kategori Risiko	Rekomendasi Tindakan Mitigasi
SDM	Kuantitas	Operator IPAL		High	Menambah tenaga operator IPAL
		Teknisi Mesin		High	Menambah tenaga teknisi mesin
		Analisis Lab		High	Menambah tenaga analis laboratorium
	Kualitas	Tingkat Pendidikan		Significant	Meningkatkan kompetensi melalui pelatihan
		Tenaga Ahli		Significant	Menyediakan tenaga ahli bidang pengolahan limbah cair
		Pemahaman Operasional IPAL	Pelatihan Referensi/ Literatur	Major	Merencanakan program pelatihan tahunan
	Job Description	Ketersediaan SOP		Major	Melengkapi SOP yang diperlukan sesuai standar SNI
		SOP Sulit Diterapkan	Peralatan Metode	Major	Meninjau SOP, menyesuaikan dengan peralatan yang tersedia
		Kinerja Operator		Major	Meninjau SOP dengan mengacu metode standar (SNI)
Mesin	Pompa Inlet	Suku Cadang		Severe	Mengevaluasi analisis beban kerja pegawai, memantau konsistensi kinerja operator dengan laporan harian
		Usia Pompa		Moderate	Menyediakan suku cadang yang sering mengalami kerusakan
		Perawatan		Low	Memantau efisiensi kinerja pompa dari flow meter
	Blower	Kapasitas Blower		Significant	Merencanakan perawatan pompa secara berkala setiap bulan
		Usia Blower		Trivial	Memantau efisiensi kinerja
		Perawatan		Trivial	Memantau efisiensi kinerja
	Difuser	Kondisi Fisik Difuser	Tersumbat Pecah/ rusak	Trivial	Merencanakan perawatan blower secara berkala setiap bulan
		Perletakan Difuser		Significant	Merencanakan perawatan secara berkala
	Pompa Outlet	Suku Cadang		Significant	Mengganti bahan difuser yang lebih kuat dari plastik
		Usia Pompa		High	Mengganti jaringan pipa dan meletakkan difuser dengan jarak 20 cm dari dasar bak
		Perawatan		Moderate	Menyediakan suku cadang yang sering mengalami kerusakan
	Dosing Pump	Kalibrasi		Low	Memantau efisiensi kinerja
		Perawatan		Major	Merencanakan perawatan pompa secara berkala setiap bulan
Proses	Bak Equalisasi	Waktu Tenggat (td)	Debit Limbah	Trivial	Merencanakan kalibrasi setiap 1 tahun sekali (buku manual)
			Volume Bak	Trivial	Merencanakan perawatan secara berkala setiap bulan
	Bak Lumpur Aktif	BOD Loading		Major	Mengganti pompa inlet, dan mengatur debit limbah yang dipompa menuju ke bak lumpur aktif (debit rata-rata harian)
		MLSS		Significant	Menambah volume bak equalisasi menjadi 8 m <sup>3</sup>
		F/M Rasio		Major	Memantau dan menghitung beban BOD yang masuk ke IPAL secara konsisten, serta membuat pencatatan harian
		Sludge Age		Severe	Melakukan seeding ulang, memasang pompa sentrifugal untuk proses sirkulasi lumpur aktif, memenuhi kebutuhan nutrisi dengan rasio BOD : N : P (100 : 5 : 1)
		Kebutuhan O <sub>2</sub>		Severe	Mengendalikan proses sirkulasi lumpur aktif (20 - 40%)
		Waktu Aerasi		Severe	Mengendalikan proses sirkulasi lumpur aktif, memantau dan menghitung secara konsisten, serta membuat pencatatan harian
		Rasio Resirkulasi		Major	Melakukan perawatan berkala pada blower 1 bulan sekali
		Efisiensi		Major	Menghitung dan memastikan debit limbah masuk tidak lebih dari kapasitas IPAL (200m <sup>3</sup> /hari), serta membuat pencatatan harian
	Bak Sedimentasi (Tube Settler)	Sludge Volume Index (SVI)		Severe	Memasang pompa sentrifugal dengan kapasitas minimum 23 liter/ menit agar rasio resirkulasi 20-40% terpenuhi
		Reynold Number (NRe)		Severe	Memantau dan menjaga setiap kriteria proses tetap ideal dengan melakukan perhitungan dan pencatatan harian
		Waktu Tenggat (td)		Severe	Menambah proses sirkulasi lumpur aktif, melakukan analisa sludge volume (SV30), memberi nutrisi (rasio BOD : N : P)
	Bak Klorinasi	Sisa klor		Significant	Menjaga saluran menuju bak sedimentasi tidak tersumbat dengan melakukan pemeriksaan harian
		Kualitas Limbah Cair		Significant	Mengatur debit limbah yang dipompa menuju ke bak lumpur aktif (sesuai debit rata-rata harian (70 m <sup>3</sup> / hari)
		Sisa klor		Major	Mengkalibrasi dosing pump, memantau nilai sisa klor setiap hari
		Kualitas Limbah Cair		Low	Melakukan pemantauan internal harian terhadap parameter limbah cair

Strategi mitigasi dilakukan dengan mempertimbangkan skala prioritas. Rekomendasi dijalankan mulai dari kriteria risiko tertinggi (*Severe*) yang mempunyai potensi terbesar terhadap penurunan kinerja IPAL RSUD Haji Surabaya. Setelah risiko dengan kategori *Severe* dapat diminimalisasi, selanjutnya optimasi

secara bertahap dilakukan pada risiko dengan kriteria *High, Major, Significant, Moderate, Low, dan Trivial*, tentunya mempertimbangkan anggaran biaya yang ada. Rincian perkiraan biaya apabila tindakan optimasi ini dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan detail perhitungannya terdapat pada lampiran I.

Tabel 4.14 Rincian Kebutuhan dan Anggaran Biaya Tindakan Optimasi

Kategori Risiko	Kebutuhan/ Investasi	Total Biaya	Dampak yang didapat
<i>Severe</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengurasan lumpur (20m<sup>3</sup>)</li> <li>- Pompa Sentrifugal (min 23 l/mnt)</li> <li>- Jaringan perpipaan pompa lumpur aktif</li> <li>- Pupuk TSP (25 kg x 6) untuk nutrisi</li> <li>- Pupuk Urea (25 kg x 6) untuk nutrisi</li> <li>- Biaya Instalasi (2 orang, 3 hari)</li> </ul>	23,750,000	MLSS meningkat, transfer O <sub>2</sub> dan pengadukan oleh blower merata, tidak terjadi pengendapan pada dasar bak lumpur aktif, F/M terpenuhi, umur lumpur lebih panjang, efisiensi proses lumpur aktif semakin tinggi.
<i>High</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rekrutment pegawai + gaji 12 bln</li> <li>- Jaringan pipa blower</li> <li>- biaya instalasi (2 orang, 3 hari)</li> </ul>	31,900,000	Kerusakan peralatan cepat ditangani, analisa laboratorium rutin dilakukan, sehingga operasional IPAL lebih terjaga
<i>Major</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rencana Pelatihan Pengolahan Limbah Cair (2 kali setahun)</li> <li>- Magnetic Flow Meter</li> <li>- Rencana Kalibrasi Dosing Pump (1 kali setahun)</li> <li>- Rencana perawatan pompa 3 bulan sekali</li> </ul>	22,350,000	Keahlian operator IPAL bertambah, prosedur kerja yang ditetapkan mudah dijalankan, kinerja peralatan mekanik optimal, konsentrasi MLSS dan rasio F/M terjaga dengan baik sehingga efisiensi IPAL tidak menurun
<i>Significant</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difuser stainless (54 pcs)</li> <li>- Pembuatan bak equalisasi</li> <li>- Rencana perawatan pompa dan difuser (3 bulan sekali)</li> </ul>	8,590,000	Transfer O <sub>2</sub> lebih merata, usia difuser lebih lama, kinerja pompa optimal, debit limbah cair yang masuk konstan sehingga mengurangi shock loading pada proses lumpur aktif
<i>Moderate</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impeller pompa</li> <li>- Kumparan motor (angker)</li> </ul>	2,615,000	Perbaikan kerusakan pada pompa dapat segera diselesaikan
<i>Low</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reagen COD (A, B)</li> <li>- Reagen NH<sub>3</sub></li> <li>- Reagen Phosphat</li> <li>- Kertas saring</li> <li>- Ceklist harian IPAL</li> </ul>	11,750,000	Memudahkan melakukan monitoring debit limbah cair yang masuk ke IPAL, memudahkan memonitor kualitas limbah cair setiap hari
<i>Trivial</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rencana perawatan blower (3 bulan sekali)</li> <li>- Rencana perawatan dosing pump (3 bulan sekali)</li> </ul>	400,000	Kinerja blower dan dosing pump optimal, dosis kaporit yang diinjeksikan sesuai sehingga kualitas efluen limbah cair lebih baik

#### 4.5. Rekomendasi

Berdasarkan rincian diatas dapat dilihat bahwa tindakan optimasi yang dilakukan pada kategori risiko *Severe* memiliki dampak yang signifikan untuk mengoptimalkan kinerja IPAL. Optimasi yang dilakukan lebih fokus kepada proses lumpur aktif, yaitu upaya meningkatkan nilai MLSS, meratakan proses transfer oksigen melalui difuser, menyeimbangkan nilai F/M rasio, dan memperpanjang umur lumpur aktif. Apabila parameter proses tersebut terpenuhi sesuai kriteria, maka efisiensi proses lumpur aktif akan meningkat.

Upaya untuk meningkatkan nilai MLSS juga dipengaruhi oleh letak diffuser, hal ini saling terkait karena perletakan diffuser yang sesuai akan mengakibatkan proses aerasi sekaligus pengadukan di bak lumpur aktif merata. Dengan demikian turbulensi terjadi pada hampir setiap sisi bak, sehingga hampir tidak terjadi pengendapan, karena sebagian besar lumpur bakteri tersuspensi dan teraduk bersama air limbah.

Setelah proses lumpur aktif optimal, maka secara bertahap langkah optimasi dilakukan lebih fokus kepada sumber daya manusia yang mengelola. Tindakan optimasi selanjutnya yang direkomendasikan adalah pada kategori risiko *High* dimana difokuskan kepada pengoptimalan kinerja operator IPAL. Upaya yang dilakukan adalah menambah karyawan, utamanya adalah untuk operator IPAL, teknisi mesin, dan analis laboratorium. Dengan adanya operator maka operasional IPAL akan terpantau secara rutin, selain itu apabila terjadi kerusakan pada peralatan mekanik maka teknisi mesin dapat segera melakukan perbaikan. Dalam hal pemantauan kualitas limbah cair yang diolah, analis laboratorium juga dapat melakukan pemantauan harian yang hasilnya akan dilaporkan dan dianalisa oleh koordinator terkait.

Tindakan optimasi lainnya pada kategori risiko *Major, Significant, Moderate, Low, dan Trivial* dapat dilakukan dengan mempertimbangkan anggaran biaya yang ada karena sifatnya sebagai penunjang terhadap perencanaan dalam operasional IPAL. Dengan perencanaan yang baik pada setiap aspek yang ditinjau, yaitu SDM, Mesin, dan Proses tentunya operasional IPAL akan berjalan dengan kinerja yang optimal yang ditandai dengan meningkatnya kualitas efluen limbah cair yang memenuhi baku mutu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dari tujuan tesis ini adalah :

1. Penyebab utama buruknya kualitas efluen limbah cair dan penurunan kinerja IPAL lumpur aktif RSU Haji Surabaya yaitu disebabkan oleh faktor proses IPAL itu sendiri dan Sumber Daya Manusia (SDM). Risiko tertinggi yaitu dengan kategori *Severe* terdapat pada nilai *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS), *Food/ Microorganism* (F/M rasio), *Sludge Age*, Efisiensi sistem lumpur aktif, dan *Sludge Volume Index* (SVI) yang belum memenuhi kriteria proses. Selain itu Kinerja Operator IPAL yang kurang konsisten juga menjadi penyebab penurunan kualitas efluen IPAL.
2. Optimasi yang prioritas dilakukan untuk pengoptimalan proses IPAL Lumpur Aktif RSU Haji Surabaya pada kategori risiko terbesar (*Severe*) antara lain dengan :
  - a. Penambahan proses sirkulasi lumpur aktif (RAS) dengan memasang pompa sentrifugal dengan kapasitas minimum 23 liter/ menit agar kriteria rasio resirkulasi lumpur aktif terpenuhi (perhitungan pada lampiran H). Dengan mengembalikan sebagian lumpur aktif ke dalam reaktor, diharapkan nilai *MLSS* akan meningkat, sehingga menyebabkan nilai *Food/ Microorganism* (F/M rasio), *Sludge Age*, Efisiensi proses, dan *Sludge Volume Index* (SVI) dapat memenuhi kriteria proses lumpur aktif.
  - b. Merubah sistem jaringan pipa blower dan letak diffuser pada dasar bak lumpur aktif agar proses aerasi atau transfer oksigen dapat berjalan optimal. Dengan kondisi ini maka waktu kontak udara dengan air akan lebih lama. Selain itu pengadukan oleh blower akan terjadi merata sampai pada dasar bak, sehingga mengurangi terjadinya pengendapan pada reaktor lumpur aktif.



## **5.2. Saran**

Saran yang ditujukan dalam penelitian selanjutnya yaitu :

1. Menguji toksisitas limbah cair rumah sakit yang akan diproses pada IPAL lumpur aktif untuk mengetahui secara pasti faktor yang menyebabkan nilai MLSS sangat rendah.
2. Melakukan validasi data analisa laboratorium limbah cair dengan mengambil data primer dengan rentang waktu yang panjang, agar dapat diketahui pasti efisiensi setiap unit pengolahan.

### Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal kegiatan ini digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian agar penelitian berjalan sesuai dengan rencana yang ditetapkan. Penelitian dilakukan selama 90 hari (3 bulan) di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Tabel 4.1 merupakan jadwal kegiatan dalam pelaksanaan penelitian.

Tabel 4.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan																			
		September				Oktober				Nopember				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penyusunan Ide Studi																				
2	Studi Literatur																				
3	Observasi Lapangan																				
4	Penyusunan Proposal Tesis																				
5	Pengumpulan data																				
6	Seminar Proposal Tesis																				
7	Pelaksanaan Penelitian																				
8	Seminar Progres																				
9	Penulisan Laporan																				
10	Ujian Tesis																				


## Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya untuk pelaksanaan penelitian ini mulai dari studi literature, analisa, dan pembuatan laporan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian	Jumlah ( )	Satuan	Harga Satuan	Total Biaya
<b>A</b>	Studi Literatur (Buku, Jurnal, Internet)	1	Paket	500,000	500,000
<b>B</b>	Transportasi, dll	1	Paket	200,000	200,000
<b>C</b>	Pengumpulan Data				
1	Analisa COD	12 x 5 segmen	Kali	50,000	3,000,000
2	Analisa N	12 x 5 segmen	Kali	50,000	3,000,000
3	Analisa P	12 x 5 segmen	Kali	50,000	3,000,000
4	Souvenir Responden	20	Orang	50,000	1,000,000
5	Biaya Brainstorming	10 orang (2x)	Orang	25,000	500,000
6	Makanan minuman rapat	10 orang (2x)	Orang	25,000	500,000
<b>D</b>	Pembuatan laporan				
1	Kertas A4 80 gr	2	Rim	40,000	80,000
2	Tinta Printer	2	Set	150,000	300,000
3	Fotocopy Laporan	10	Berkas	10,000	100,000
4	Fotocopy & Penjilidan Laporan	6	Buku	30,000	180,000
5	CD blank	5	Keping	5,000	25,000
<b>TOTAL BIAYA</b>					<b>12,385,000</b>

## Hasil Analisa Laboratorium Eksternal



**KEMENTERIAN KESEHATAN**  
**DIREKTORAT JENDERAL BINA PELAYANAN MEDIK**  
**BALAI BESAR LABORATORIUM KESEHATAN SURABAYA**  
 Jalan Karangmenjangan No. 18 Surabaya - 60286  
 Telepon Pelayanan : (031) 5020306, TU : (031) 5021451 Faksimili : (031) 5020388  
 Website : bblksurabaya.com - Surat elektronik : bblksuh@surabaya.go.id

---

Nomor	L 001333 / 008 / AB / I / 2011
Jenis Bahan	Air Limbah RS
Kode Bahan	Out Let IPAL Lumpur Aktiv
Dikirim oleh	<b>RSU.HAJI SURABAYA</b>
Alamat pengirim	Jl. Manyar Kertoadi , Surabaya
Diambil oleh	Yang bersangkutan
Diterima di BBLK tgl	27 Januari 2011

---

### HASIL ANALISA KIMIA

VOLUME LIMBAH CAIR PER SATUAN TEMPAT TIDUR 0,45 M3/TEMPAT TIDUR TERHUNI / HARI SESUAI SK GUB JATIM NO. 61 Thn.2000					
NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	KADAR MAKSIMUM	BEBAN MAKSIMUM
1	BOD	mg/L	6,80	30	0,0337 kg/tempat tidur terhuni / hari
2	COD	mg/L	36,905	80	0,0450 kg/tempat tidur terhuni / hari
3	TSS	mg/L	3,00	30	0,0450 kg/tempat tidur terhuni / hari
4	NH <sub>3</sub> Bebas	mg/L	0,055	0,1	0,00004 kg/tempat tidur terhuni / hari
5	Deterjen Anionik	mg/L	0,021	0,5	0,00022 kg/tempat tidur terhuni / hari
6	Phenol	mg/L	-	0,05	0,00002 kg/tempat tidur terhuni / hari
7	Sisa Klor bebas	mg/L	0,40	0,5	0,00022 kg/tempat tidur terhuni / hari
8	pH	-	7,38	6 - 9	-

11 Pebruari 2011

Balai Besar Laboratorium Kesehatan Surabaya  
 Manajer Teknik, *a*

*[Signature]*  
**Dwi Endah Puspitasari, S.Si, Apt.**  
 NIP. 197304251999032001

**Hasil Analisa Laboratorium (Data Primer)**

Titik Periksa	COD (mg/l) Hari ke						COD Average
	1	2	3	4	5	6	
INLET	379	368	354	357	281	277	336.0
Outlet Equalisasi	374	363	349	352	277	272	331.2
Outlet Lumpur Aktif	341	337	327	341	225	217	298.0
Outlet Sedimentasi	336	325	315	328	212	210	287.7
OUTLET	271	265	262	156	83	86	187.2

**Efisiensi Masing- masing Unit Proses**

Unit Proses	Efisiensi (% Removal) hari ke						Efisiensi Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
Bak Equalisasi (5%)	1.32	1.36	1.41	1.40	1.42	1.81	1.45
Lumpur Aktif (90%)	8.82	7.16	6.30	3.13	18.77	20.22	10.73
Sedimentasi (10%)	1.47	3.56	3.67	3.81	5.78	3.23	3.59
Klorinasi (90%)	19.35	18.46	16.83	52.44	60.85	59.05	37.83

## Ceklist pengawasan IPAL

**RUMAH SAKIT UMUM HAJI SURABAYA**  
Jl. Manyar Kertoaji Telp. (031) 5924000 Fax. (031) 5947890 Surabaya 60117

---

**CHECK LIST PENGAWASAN**  
**PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN SISTEM LUMPUR AKTIF**

Hari / Tanggal Pengawasan : Serang / 01 September 2014

NO	ITEM YANG DIPERIKSA	KEADAAN IPAL LUMPUR AKTIF		KETERANGAN
		<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
1	Pompa Air Baku	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
2	Reaktor Lumpur Aktif	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
3	Blower (2 buah)	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
		Fungsi : _____	Buah	
		Rusak : _____	Buah	
4	Setler	<input type="checkbox"/> Jalan	<input checked="" type="checkbox"/> Tidak Jalan	
5	Pompa Filter (2 buah)	<input checked="" type="checkbox"/> Baik	<input type="checkbox"/> Rusak	<u>B- 2131</u>
		Fungsi : _____	Buah	<u>I- 29 484/33</u>
		Rusak : _____	Buah	
6	Hidrocydon (2 buah)	<input type="checkbox"/> Jalan	<input checked="" type="checkbox"/> Tidak Jalan	
		Fungsi : _____	Buah	
		Rusak : _____	Buah	
7	Flow Meter (2 buah)	<input checked="" type="checkbox"/> Bersih	<input type="checkbox"/> Cukup	
		Fungsi : _____	Buah	
		Rusak : _____	Buah	
8	Filter	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
9	Penyeruput Lumpur	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
10	Drying Bed	<input type="checkbox"/> Jalan	<input checked="" type="checkbox"/> Tidak Jalan	
11	Pompa Bak Collector (3 buah)	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
		Fungsi : _____	Buah	
		Rusak : _____	Buah	
12	Penambahan Kaporit	<input checked="" type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak	
		_____ Kg		
13	Perpipaan	<input type="checkbox"/> Jalan	<input checked="" type="checkbox"/> Tidak Jalan	
14	Instalasi Listrik	<input checked="" type="checkbox"/> Jalan	<input type="checkbox"/> Tidak Jalan	
15	Indikator	<input type="checkbox"/> Ya	<input checked="" type="checkbox"/> Tidak	
	Jenis Indikator			
	Kondisi Indikator			

Keterangan : Fungsi Air bersih  
—> Penambahan Tawar (methyl)

Pengawas,  




### Data Analisis Beban Kerja Instalasi Sanitasi

<b>Nama Jabatan</b>	<b>Ikhtisar Jabatan</b>	<b>Σ Pegawai yang dibutuhkan (orang)</b>	<b>Σ Pegawai Eksisting (orang)</b>
Kepala Instalasi Sanitasi	Bertanggung jawab atas seluruh kegiatan di instalasi sanitasi	1.25	1.00
Sekretaris Instalasi	Membantu kepala instalasi dalam pelaksanaan kegiatan di instalasi sanitasi.	1.35	1.00
Koordinator Kebersihan Lingkungan	Bertanggung jawab atas kebersihan gedung, MCK, dan halaman di lingkungan rumah sakit.	1.08	1.00
Pelaksana Pemantau Kebersihan Gedung dan MCK	Melakukan pemantauan terkait kebersihan gedung dan MCK rumah sakit.	0.53	-
Pelaksana Kebersihan Halaman dan Taman	Bertanggung jawab atas kebersihan halaman dan taman di rumah sakit.	6.16	3.00
Koordinator Penyehatan Lingkungan	Melaksanakan evaluasi dan membuat laporan bulanan kegiatan penyehatan lingkungan di rumah sakit.	1.16	1.00
Pelaksana Pengelola Sarana Air Bersih	Bertanggung jawab atas penyediaan air bersih.	2.40	2.00
Pelaksana pengelola Limbah Padat	Bertanggung jawab atas pengelolaan limbah padat.	2.05	2.00
Pelaksana Pengendalian Vektor dan Binatang Pengganggu	Menekan kepadatan populasi vektor dan binatang pengganggu di rumah sakit.	0.96	1.00
Pelaksana Laboratorium Kesehatan Lingkungan	Melaksanakan pengujian kualitas air limbah, air bersih, udara ruang, makanan dan minuman, serta instrumen dan linen rumah sakit.	0.58	-
Pelaksana Pengelola Limbah Cair	Bertanggung jawab atas operasional IPAL.	2.06	1.00



Koordinator penyehatan Bangunan	Bertanggung jawab atas pemeliharaan gedung dan MCK.	1.08	1.00
Pelaksana Pemeliharaan Jaringan Air	Bertanggung jawab atas pelaksanaan pemeliharaan jaringan air bersih dan air kotor.	2.07	2.00
Pelaksana Pemeliharaan Gedung	Bertanggung jawab atas pelaksanaan pemeliharaan gedung rumah sakit.	2.07	2.00
Pengadministrasi	Melakukan kegiatan administrasi dan membuat laporan kegiatan di instalasi sanitasi.	1.21	1.00
<b>Jumlah Total Pegawai</b>		<b>26.00</b>	<b>19.00</b>

## Kuisisioner Penentuan Frekuensi Proses dan Kejadian

### ARAHAN PENGISIAN

#### PENENTUAN FREKUENSI PROSES DAN FREKUENSI KEJADIAN ERROR

##### Petunjuk :

Mohon bapak/ ibu menjawab pertanyaan yang sama untuk masing-masing sub faktor/ komponen pada tabel di belakang dengan memilih jawaban yang tersedia.

Keterangan pilihan jawaban :

Nilai	Frekuensi			Penjelasan
	Proses (Fp)	Kejadian (Fk)	Keterangan	
1	1 tahun	> 5 tahun	sangat jarang	Kegiatan yang dilakukan jarang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
2	3 bulan - 1 tahun	1 - 5 tahun	jarang	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan kecil dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
3	1 - 3 bulan	6 bulan - 1 tahun	sedang	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan sedang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
4	6 hari - 1 bulan	3 - 6 bulan	sering	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan besar kemungkinan dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar
5	harian	1 - 3 bulan	selalu	Kegiatan yang dilakukan hampir pasti dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar. Merupakan peringkat tertinggi.

Sumber : Assesment Instalasi Sanitasi RSU Haji Surabaya

Pertanyaan berlaku pada kejadian-kejadian yang pernah terjadi dalam operasional IPAL Lumpur Aktif RSU Haji Surabaya, serta prediksi kejadian yang mungkin atau dapat terjadi menurut pengalaman bapak/ ibu dalam menangani permasalahan di lapangan terkait permasalahan kualitas efluen IPAL Lumpur Aktif RSU Haji Surabaya.

*“Jawaban yang jujur dan obyektif sangat mendukung dalam keefektifan penentuan risiko dan penanganan yang tepat untuk permasalahan Kualitas Efluen IPAL Lumpur Aktif RSU Haji Surabaya”*

## **Pertanyaan untuk faktor Sumber Daya Manusia**

### **Terkait Kuantitas/ jumlah Sumber Daya Manusia yang ada :**

1. Apakah ada operator khusus IPAL?
  - a. Apabila ada, bagaimana seharusnya periode kerjanya?

<input type="checkbox"/> Harian	<input type="checkbox"/> 3 Bulan - 1 Tahun
<input type="checkbox"/> 6 Hari – 1 Bulan	<input type="checkbox"/> 1 Tahun
<input type="checkbox"/> 1 - 3 Bulan	
  - b. Apabila tidak ada, bagaimana frekuensi kekosongan pada posisi tersebut?

<input type="checkbox"/> Selalu	<input type="checkbox"/> Sering	<input type="checkbox"/> Sedang	<input type="checkbox"/> Jarang	<input type="checkbox"/> Sangat Jarang
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--
2. Apakah ada teknisi mesin/ tenaga maintenance?
  - a. Apabila ada, bagaimana seharusnya periode kerjanya?

<input type="checkbox"/> Harian	<input type="checkbox"/> 3 Bulan - 1 Tahun
<input type="checkbox"/> 6 Hari – 1 Bulan	<input type="checkbox"/> 1 Tahun
<input type="checkbox"/> 1 - 3 Bulan	
  - b. Apabila tidak ada, bagaimana frekuensi kekosongan pada posisi tersebut?

<input type="checkbox"/> Selalu	<input type="checkbox"/> Sering	<input type="checkbox"/> Sedang	<input type="checkbox"/> Jarang	<input type="checkbox"/> Sangat Jarang
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--
3. Apakah ada analis laboratorium?
  - a. Apabila ada, bagaimana seharusnya periode kerjanya?

<input type="checkbox"/> Harian	<input type="checkbox"/> 3 Bulan - 1 Tahun
<input type="checkbox"/> 6 Hari – 1 Bulan	<input type="checkbox"/> 1 Tahun
<input type="checkbox"/> 1 - 3 Bulan	
  - b. Apabila tidak ada, bagaimana frekuensi kekosongan pada posisi tersebut?

<input type="checkbox"/> Selalu	<input type="checkbox"/> Sering	<input type="checkbox"/> Sedang	<input type="checkbox"/> Jarang	<input type="checkbox"/> Sangat Jarang
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--

### **Terkait Kualitas Sumber Daya Manusia yang ada :**

1. Apakah tk. pendidikan yang dibutuhkan terkait ops. IPAL sudah sesuai dan ideal?
  - a. Jika belum, berapa frekuensi ketidaksesuaian kondisi seperti itu?

<input type="checkbox"/> Selalu	<input type="checkbox"/> Sering	<input type="checkbox"/> Sedang	<input type="checkbox"/> Jarang	<input type="checkbox"/> Sangat Jarang
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--

2. Apakah ada tenaga ahli terkait sistem/ teknologi pengolahan limbah cair?
  - a. Bagaimana periode kerjanya?
  - b. Apakah pernah terjadi kekosongan pada posisi tersebut? Berapa frekuensinya?
 

☐ Selalu
☐ Sering
☐ Sedang
☐ Jarang
☐ Sangat Jarang
3. Apakah SDM terkait pernah diberi pelatihan tentang operasional IPAL?
  - a. Berapa frekuensi pelatihan yang diikuti?
 

☐ Selalu
☐ Sering
☐ Sedang
☐ Jarang
☐ Sangat Jarang
  - b. Berapa frekuensi kejadian tidak diikutsertakan pelatihan?
 

☐ 1 – 3 Bulan

☐ 1 – 5 Tahun

☐ 3 – 6 Bulan

☐ > 5 Tahun

☐ 6 Bulan – 1 Tahun
4. Apakah terdapat referensi/ literatur untuk mendukung tugas/ pekerjaan?
5. Pernahkan mengalami kesulitan mencari literatur untuk menunjang pekerjaan?  
Berapa frekuensi kejadiannya?
 

☐ Selalu
☐ Sering
☐ Sedang
☐ Jarang
☐ Sangat Jarang

**Terkait Job Description/ Tupoksi :**

1. Apakah SOP terkait operasional IPAL sudah tersedia lengkap dan memadai?
  - a. Apakah SOP selalu digunakan dalam setiap kegiatan operasional IPAL?
  - b. Apakah pernah terjadi ketidaklengkapan SOP?
  - c. Bila pernah, berapa frekuensi kejadian SOP tidak lengkap terjadi?
 

☐ Selalu
☐ Sering
☐ Sedang
☐ Jarang
☐ Sangat Jarang
2. Apakah pelaksanaan SOP ditunjang dengan peralatan yang memadai?
  - a. Pernahkan faktor peralatan menghambat pelaksanaan SOP?
  - b. Bila pernah, berapa banyak frekuensi terjadinya?
 

☐ Selalu
☐ Sering
☐ Sedang
☐ Jarang
☐ Sangat Jarang
3. Apakah metode yang digunakan mudah dilakukan?
  - a. Pernahkan metode dalam SOP menghambat pekerjaan?

- b. Bila pernah, berapa sering frekuensi kejadian tersebut?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
4. Apakah konsistensi operator dalam pelaksanaan SOP mempengaruhi proses IPAL?
- a. Apakah kinerja operator konsisten dalam melaksanakan SOP operasional IPAL?
- b. Bila kurang konsisten, berapa sering frekuensi kejadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

### **Pertanyaan untuk faktor Mesin atau Peralatan**

#### **1. Pompa Inlet**

- a. Apakah tersedia pompa cadangan dan spare partnya?
- b. Pernahkan perbaikan pompa terganggu karena tidak adanya spare part? Berapa frekuensi kejadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- c. Pernahkah terjadi gangguan pada pompa inlet karena faktor usia? Bagaimana frekuensinya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- d. Apakah ada jadwal perawatan pompa inlet secara berkala? Seharusnya berapa periode perawatan yang dilakukan?
- ☐ Harian      ☐ 3 Bulan - 1 Tahun  
☐ 6 Hari – 1 Bulan      ☐ 1 Tahun  
☐ 1 - 3 Bulan
- e. Berapa frekuensi perawatan yang dilakukan diluar jadwal/ rencana?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

#### **2. Blower**

- a. Apakah kapasitas blower yang digunakan saat ini mencukupi/ sesuai dengan kebutuhan IPAL?

- b. Apakah blower pernah mengalami gangguan sehingga tidak dapat bekerja sesuai fungsinya untuk mensuplai udara? Berapa frekuensi terjadinya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- c. Apakah tersedia blower cadangan dan spare partnya?
- d. Pernahkah terjadi gangguan pada blower karena faktor usia? Bagaimana frekuensinya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- e. Apakah ada jadwal perawatan blower secara berkala? Seharusnya berapa periode perawatan yang dilakukan?
- ☐ Harian      ☐ 3 Bulan - 1 Tahun  
☐ 6 Hari – 1 Bulan      ☐ 1 Tahun  
☐ 1 - 3 Bulan
- f. Berapa frekuensi perawatan yang dilakukan diluar jadwal/ rencana?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

### 3. Difuser

- a. Apakah kondisi diffuser saat ini masih normal, tidak mengalami kerusakan?
- b. Pernahkah diffuser tersumbat, sehingga mengganggu proses aerasi? Berapa sering?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- c. Pernahkah diffuser mengalami kerusakan? Berapa frekuensi terjadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- d. Bagaimanakah pengaturan letak diffuser saat ini? Apakah telah sesuai desain (terletak pada dasar bak)?
- e. Sudah berapa lama kondisi ini terjadi?
- ☐ 1 – 3 Bulan      ☐ 1 – 5 Tahun  
☐ 3 – 6 Bulan      ☐ > 5 Tahun  
☐ 6 Bulan – 1 Tahun

#### 4. Pompa Outlet

- a. Apakah tersedia pompa cadangan dan spare partnya?
- b. Pernahkan perbaikan pompa terganggu karena tidak adanya spare part?  
Berapa frekuensi kejadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- c. Pernahkah terjadi gangguan pada pompa outlet karena faktor usia?  
Bagaimana frekuensinya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- d. Apakah ada jadwal perawatan pompa outlet secara berkala? Seharusnya berapa periode perawatan yang dilakukan?  
☐ Harian      ☐ 3 Bulan - 1 Tahun  
☐ 6 Hari – 1 Bulan      ☐ 1 Tahun  
☐ 1 - 3 Bulan
- e. Berapa frekuensi perawatan yang dilakukan diluar jadwal/ rencana?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

#### 5. Dosing Pump

- a. Apakah dosing pump selalu dilakukan kalibrasi? Idealnya berapa frekuensi dilakukan kalibrasi?  
☐ Harian      ☐ 3 Bulan - 1 Tahun sekali  
☐ 6 Hari – 1 Bulan sekali      ☐ 1 Tahun sekali  
☐ 1 - 3 Bulan sekali
- b. Bila tidak dilakukan dikalibrasi, berapa frekuensi kejadian tersebut?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- c. Apakah ada jadwal perawatan dosing pump secara berkala? Seharusnya berapa periode perawatan yang dilakukan?  
☐ Harian      ☐ 3 Bulan - 1 Tahun  
☐ 6 Hari – 1 Bulan      ☐ 1 Tahun  
☐ 1 - 3 Bulan

- d. Berapa frekuensi perawatan yang dilakukan diluar jadwal/ rencana?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

### **Pertanyaan untuk faktor Proses**

#### **1. Bak Equalisasi**

- a. Apakah bak equalisasi dapat menampung semua limbah cair yang akan diproses?
- b. Apakah waktu tinggal (td) limbah cair minimal (4 jam) telah terpenuhi? Apabila tidak, berapa frekuensi terjadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

#### **2. Bak Lumpur Aktif**

- a. Apakah beban BOD yang masuk ke bak lumpur aktif tidak melebihi batas maksimal yaitu 1,86 Kg BOD/ m<sup>3</sup>.hari? Apabila melebihi, berapa frekuensi terjadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- b. Apakah nilai MLSS telah memenuhi kriteria proses yaitu 1500 – 2000 mg/l? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- c. Apakah nilai F/M rasio telah memenuhi kriteria proses yaitu 0,04 – 1 Kg BOD/ Kg MLSS/ hari? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- d. Apakah umur lumpur (sludge age) telah memenuhi kriteria proses yaitu 5- 15 hari? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?
- ☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang



- e. Apakah rasio kebutuhan oksigen telah memenuhi kriteria proses yaitu  $Q_{udara}/Q_{air} = 3 - 7$ ? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- f. Apakah waktu aerasi ( $t$ ) telah memenuhi kriteria proses yaitu  $6 - 8$  jam? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- g. Apakah rasio resirkulasi lumpur aktif (RAS) telah memenuhi kriteria proses yaitu  $Q_{lumpur}/Q_{air\ limbah} = 25 - 75\%$ ? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- h. Apakah efisiensi pengolahan dengan sistem lumpur aktif telah memenuhi kriteria proses yaitu  $85 - 95\%$ ? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

### 3. Bak Sedimentasi (Tube Settler)

- a. Apakah nilai Sludge Volume Index (SVI) telah memenuhi kriteria proses yaitu  $100 - 150$  ml/g? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang
- b. Apakah Reynold Number ( $N_{Re}$ ) telah memenuhi kriteria pengendapan yaitu aliran laminar  $< 10.000$ ? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi terjadiannya?  
☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

- c. Apakah waktu tinggal (td) dalam proses pengendapan telah memenuhi kriteria proses yaitu 1 – 2,5 jam? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi kejadiannya?

☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

**4. Bak Klorinasi**

- a. Apakah nilai sisa klor telah memenuhi kriteria proses yaitu  $< 0,01$  mg/l? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi kejadiannya?

☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

- b. Apakah kualitas limbah cair, khususnya parameter mikrobiologi telah memenuhi baku mutu yaitu  $< 4000$  MPN? Apabila tidak memenuhi, berapa frekuensi kejadiannya?

☐ Selalu      ☐ Sering      ☐ Sedang      ☐ Jarang      ☐ Sangat Jarang

Surabaya, .....  
Responden

.....

## Data Debit Limbah Lumpur Aktif

Bulan : Juni 2014

Tgl	Flow Meter (m3)	Debit (M3/hr)
1	23783.9	-
2	23848.5	64.6
3	23921.5	73
4	23984.6	63.1
5	24059.1	74.5
6	24127.6	68.5
7	24186.7	59.1
8	24265.2	78.5
9	24325.3	60.1
10	24395	69.7
11	24465	70
12	24545.7	80.7
13	24615.3	69.6
14	24678.3	63
15	24732.3	54
16	24816.4	84.1
17	24845.6	29.2
18	24884.1	38.5
19	24979.3	95.2
20	25098.9	119.6
21	25182.1	83.2
22	25273.8	91.7
23	25331.9	58.1
24	25403.8	71.9
25	25489.7	85.9
26	25558.5	68.8
27	25631.1	72.6
28	25681.6	50.5
29	25738.4	56.8
30	25800.1	61.7

( Q ) Average : 69.69

Bulan : Juli 2014

Tgl	Flow Meter (m3)	Debit (M3/hr)
1	25896.8	96.7
2	25963.7	66.9
3	26024	60.3
4	26100.6	76.6
5	26162.5	61.9
6	26217.8	55.3
7	26268.1	50.3
8	26327.6	59.5
9	26398.2	70.6
10	26451.5	53.3
11	26516.9	65.4
12	26578.6	61.7
13	26621.4	42.8
14	26680.7	59.3
15	26759.5	78.8
16	26862.4	102.9
17	26887.2	24.8
18	26929.3	42.1
19	26978.7	49.4
20	27037.2	58.5
21	27097.6	60.4
22	27132.3	34.7
23	27222.4	90.1
24	27279.5	57.1
25	27340.5	61
26	27405.7	65.2
27	27456.4	50.7
28	27509.2	52.8
29	27581.5	72.3
30	27659.6	78.1
31	27703.1	43.5

60.09

Bulan : Agt 2014

Tgl	Flow Meter (m3)	Debit (M3/hr)
1	27807.7	104.6
2	27853.4	45.7
3	27906.7	53.3
4	27977.9	71.2
5	28033.6	55.7
6	28082.3	48.7
7	28142.7	60.4
8	28201.5	58.8
9	28268.8	67.3
10	28299.2	30.4
11	28350.3	51.1
12	28403.7	53.4
13	28458.6	54.9
14	28517.4	58.8
15	28575.2	57.8
16	28620.6	45.4
17	28662.1	41.5
18	28704.6	42.5
19	28764.6	60
20	28815.4	50.8
21	28864.9	49.5
22	28910.7	45.8
23	28968.5	57.8
24	29020.7	52.2
25	29094.4	73.7
26	29167.7	73.3
27	29250.8	83.1
28	29325.1	74.3
29	29380.2	55.1
30	29420.6	40.4
31	29476.3	55.7

56.54

## Perhitungan Kondisi Eksisting Parameter Operasional IPAL

### Data eksisting

$$\begin{aligned} Q &= 75 \text{ m}^3/\text{hr} = 3,125 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0,02 \text{ MGD} \end{aligned}$$

$$\text{BOD} = 150 \text{ mg/l} = 0,15 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{BOD}_{\text{Loading}} = 0,11 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hr}$$

$$\text{TSS} = 57 \text{ mg/l}$$

$$\text{BOD}_{\text{Eff}} = 30 \text{ mg/l} = 0,03 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{SV}_{30} = 5 \text{ ml/l}$$

$$\text{TSS}_{\text{Eff}} = 19 \text{ mg/l}$$

$$\text{TSS}_{\text{AS}} = 57 \text{ mg/l}$$

$$\text{O}_2 \text{ Transfer Rate (q)} = 2,5 - 3,5 \text{ LbO}_2/\text{HP} \cdot \text{hr}$$

$$\text{Densitas Limbah } (\rho) = 8,34 \text{ Lb/gallon}$$

### Bak Equalisasi

$$\text{Dimensi (p x l x t)} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Bak} &= p \times l \times t \\ &= 1 \times 1 \times 2 = 2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal limbah (td)} &= \frac{\text{Volume}}{Q} \\ &= \frac{2 \text{ m}^3}{3,125 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 0,64 \text{ jam} \rightarrow (\text{kriteria 2-4 jam}) \end{aligned}$$

### Lumpur Aktif

$$1. \text{ MLSS} = \text{TSS} = 57 \text{ mg/l} \rightarrow (\text{kriteria 1500} - 2000 \text{ mg/l})$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ MLVSS} &= 0,75 \times \text{MLSS} \\
 &= 0,75 \times 57 \text{ mg/l} \\
 &= 42,5 \text{ mg/l} = 0,043 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ F/M} &= \frac{Q(S_0 - S)}{\text{MLVSS} \cdot V} \\
 &= \frac{75 \text{ m}^3/\text{hr} (0,15 \text{ kg/m}^3 - 0,03 \text{ kg/m}^3)}{0,043 \text{ kg/m}^3 \cdot 94 \text{ m}^3} \\
 &= 2,23 \rightarrow \text{F/M tinggi, banyak makan kurang mikroorganisme} \\
 &\quad (\text{standart } 0,04-1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ SVI} &= \frac{\text{SV}_{30} \cdot 1000}{\text{MLSS}} \\
 &= \frac{5 \text{ ml/l} \cdot 1000}{57 \text{ mg/l}} \\
 &= 87,7 \rightarrow (\text{Range Kriteria } 100-150)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \text{ HRT (td)} &= \frac{\text{Vol. Bak Lumpur Aktif}}{Q \text{ limbah}} \\
 &= \frac{94 \text{ m}^3}{3,125 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 30 \text{ jam} \rightarrow (\text{kriteria } 6 - 8 \text{ jam})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \text{ Umur lumpur (SRT)} &= \frac{\text{MLSS} \cdot V}{\text{TSS}_{\text{eff}} \cdot Q_{\text{eff}} + (\text{TSS}_{\text{as}} \cdot Q_{\text{in}})} \\
 &= \frac{57 \text{ mg/l} \cdot 94 \text{ m}^3}{(19 \text{ mg/l} \cdot 75 \text{ m}^3/\text{hr}) + (57 \text{ mg/l} \cdot 75 \text{ m}^3/\text{hr})} \\
 &= \frac{0,057 \text{ kg/m}^3 \cdot 94 \text{ m}^3}{(0,019 \text{ kg/m}^3 \cdot 75 \text{ m}^3/\text{hr}) + (0,057 \text{ kg/m}^3 \cdot 75 \text{ m}^3/\text{hr})} \\
 &= 0,93 \text{ hari} \rightarrow (\text{kriteria } 5-15 \text{ hari})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. \text{ Solid Loading} &= \frac{(\text{TSS}_{\text{as}} \cdot Q)}{1000} = \frac{(0,057 \text{ kg/m}^3 \cdot 75 \text{ m}^3/\text{hr})}{1000} \\
 &= 0,004 \text{ kg/hr}
 \end{aligned}$$

$$8. \text{ Kebutuhan udara (45-90 m}^3/\text{kg BOD)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Suplai Udara} &= \text{Kebutuhan udara} \times \text{BOD}_{\text{Load}} \times V \\
 &= 80 \text{ m}^3/\text{kg BOD} \times 0,11 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hr} \times 94 \text{ m}^3 \\
 &= 827,2 \text{ m}^3/\text{hr} \\
 &= 0,57 \text{ m}^3/\text{menit} \rightarrow (\text{Q blower eksisting } 6,2 \text{ m}^3/\text{menit})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Kebutuhan } O_2 &= \frac{Q_{udara}}{Q_{air}} \\
 &= \frac{8928 \text{ m}^3/\text{hari}}{75 \text{ m}^3/\text{hr}} \\
 &= 119 \rightarrow (\text{Kriteria min. } 3 - 7)
 \end{aligned}$$

9. Power Blower (P)

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Q \dots BOD_{in}}{24 \cdot q} \\
 &= \frac{(0,02 \text{ MGD} \cdot 8,34 \text{ Lb/galon} \cdot 150 \text{ mg/l})}{24 \cdot 3 \text{ LbO}_2/\text{HP} \cdot \text{hr}} \\
 &= \frac{25}{72} \\
 &= 0,35 \text{ HP} + 50 \% (\text{keamanan}) \\
 &= 0,52 \text{ HP} \\
 &= 0,4 \text{ Kw} \rightarrow (\text{Power Blower Eksisting } 4,6 \text{ Kw})
 \end{aligned}$$

### Bak Sedimentasi

Data Eksisting :

$$\text{Volume Bak (p x l x t)} = 4\text{m} \times 2,6\text{m} \times 3\text{m} = 31,2 \text{ m}^3 \rightarrow 2 \text{ bak} = 62,4 \text{ m}^3$$

$$Q_{air} = 75 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,125 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Viskositas Kinematik } (\nu) = 0,0008 \text{ m}^2/\text{dt}$$

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Waktu Tinggal (td)} &= \frac{\text{Volume}}{Q} = \frac{62,4 \text{ m}^3}{3,125 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 20 \text{ Jam} \rightarrow (\text{Kriteria } 1 - 2,5 \text{ Jam})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Kec. Aliran (Vo)} &= \frac{Q}{l \times t} = \frac{3,125 \text{ m}^3/\text{jam}}{2,6 \times 3} \\
 &= 0,4 \text{ m/ jam} \\
 &= 0,0001 \text{ m/ dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Kec. Mengendap (Vs)} &= \frac{t}{td} = \frac{3\text{m}}{20 \text{ jam}} \\
 &= 0,15 \text{ m/ jam} \\
 &= 0,000042 \text{ m/ dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \quad NRe &= \frac{V_s \cdot R}{\mu} \quad \rightarrow R = \frac{l \cdot t}{l + 2t} = \frac{2,6 \text{ m} \cdot 3 \text{ m}}{2,6 \text{ m} + 2 \cdot 3 \text{ m}} = 0,9 \\
&= \frac{0,000042 \text{ m/dt} \cdot 0,9}{0,0008 \text{ m}^2/\text{dt}} \\
&= 0,47 \rightarrow (\text{Kriteria aliran laminar/ transisi} < 10.000)
\end{aligned}$$

## Perhitungan Optimasi Proses IPAL Lumpur Aktif

### Bak Equalisasi

Kriteria Desain :

$$\text{Tinggi bak} = 1,5 - 2 \text{ m}$$

$$\text{Waktu tinggal (td)} = 2 - 4 \text{ jam}$$

$$\text{Debit (Q)} = 75 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,125 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Rencana Dimensi (p x l x t)} = 4 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Volume Bak} = p \times l \times t$$

$$= 4 \times 1 \times 2 = 8 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Cek waktu tinggal limbah (td)} &= \frac{\text{Volume}}{Q} \\ &= \frac{8 \text{ m}^3}{3,125 \text{ m}^3/\text{jam}} \end{aligned}$$

$$= 2,56 \text{ jam} \rightarrow (\text{kriteria 2-4 jam})$$

### Pompa Resirkulasi Lumpur Aktif

Kriteria Desain :

$$Q \text{ limbah cair} = 3,125 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q \text{ RAS/ } Q \text{ limbah} = 20 - 40\% \text{ (direncanakan maksimum hingga 40\%)}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ pompa RAS min} &= 3,125 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,4 \\ &= 1,25 \text{ m}^3/\text{jam} + \text{safety factor } 10\% \\ &= 1,375 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$





### Perhitungan Biaya Tindakan Optimasi

Kategori Risiko	Rekomendasi Tindakan Mitigasi	Kebutuhan/ Investasi	Biaya (Rp.)	Total Biaya (Rp)	Dampak yang didapat
<i>Severe</i>	Melakukan seeding ulang, memasang pompa sentrifugal untuk proses sirkulasi lumpur aktif, memenuhi kebutuhan nutrisi dengan rasio BOD : N : P (100 : 5 : 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengurasan lumpur (20m<sup>3</sup>)</li> <li>- Pompa Sentrifugal (min 23 l/mnt)</li> <li>- Jaringan perpipaan pompa lumpur aktif</li> <li>- Pupuk TSP (25 kg x 6) untuk nutrisi</li> <li>- Pupuk Urea (25 kg x 6) untuk nutrisi</li> <li>- Biaya Instalasi (2 orang, 3 hari)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 300.000/ m<sup>3</sup></li> <li>- 9.000.000/ unit</li> <li>- 5.000.000</li> <li>- 137.500</li> <li>- 337.500</li> <li>- 900.000</li> </ul>	23,750,000	MLSS meningkat, transfer O <sub>2</sub> dan pengadukan oleh blower merata, tidak terjadi pengendapan pada dasar bak lumpur aktif, F/M terpenuhi, umur lumpur lebih panjang, efisiensi proses lumpur aktif semakin tinggi.
	Mengendalikan proses sirkulasi lumpur aktif (20 - 40%)				
	Mengendalikan proses sirkulasi lumpur aktif, memantau dan menghitung secara konsisten, serta membuat pencatatan harian				
	Memasang pompa sentrifugal dengan kapasitas minimum 23 liter/ menit agar rasio resirkulasi 20-40% terpenuhi				
	Memantau dan menjaga setiap kriteria proses tetap ideal dengan melakukan perhitungan dan pencatatan harian				
	Menambah proses sirkulasi lumpur aktif, melakukan analisa sludge volume (SV30), memberi nutrisi (rasio BOD : N : P)				
<i>High</i>	Menambah tenaga Operator IPAL, Teknisi Mesin, dan Analis Laboratorium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rekrutment pegawai + gaji 12 bln</li> <li>- Jaringan pipa blower</li> <li>- biaya instalasi (2 orang, 3 hari)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5.000.000 + (1.500.000x13)</li> <li>- 6.500.000</li> <li>- 900.000</li> </ul>	31,900,000	Kerusakan peralatan cepat ditangani, analisa laboratorium rutin dilakukan, sehingga operasional IPAL lebih terjaga
	Mengganti jaringan pipa dan meletakkan difuser dengan jarak 20 cm dari dasar bak				
<i>Major</i>	Merencanakan program pelatihan tahunan Pengolahan Limbah	- Rencana Pelatihan Pengolahan Limbah Cair (2 kali setahun)	- 7.000.000 / orang	22,350,000	Keahlian operator IPAL bertambah, prosedur kerja

	<p>Melengkapi SOP yang diperlukan sesuai standar SNI</p> <p>Meninjau SOP, menyesuaikan dengan peralatan yang tersedia</p> <p>Meninjau SOP dengan mengacu metode standar (SNI)</p> <p>Merencanakan perawatan Pompa dan Blower secara berkala setiap 1 bulan sekali</p> <p>Mengganti pompa inlet, dan mengatur debit limbah yang dipompa menuju ke bak lumpur aktif (debit rata-rata harian)</p> <p>Memantau dan menghitung beban BOD yang masuk ke IPAL secara konsisten, serta membuat pencatatan harian</p> <p>Menghitung dan memastikan debit limbah masuk tidak lebih dari kapasitas IPAL (200m<sup>3</sup>/hari), serta membuat pencatatan harian</p> <p>Mengkalibrasi dosing pump, memantau nilai sisa klor setiap hari</p>	<p>- Magnetic Flow Meter</p> <p>- Rencana Kalibrasi Dosing Pump (1 kali setahun)</p> <p>- Rencana perawatan pompa 3 bulan sekali</p>	<p>- 7.800.000/ unit</p> <p>- 350.000</p> <p>- 50.000/ 1 kali</p>		<p>yang ditetapkan mudah dijalankan, kinerja peralatan mekanik optimal, konsentrasi MLSS dan rasio F/M terjaga dengan baik sehingga efisiensi IPAL tidak menurun</p>
<i>Significant</i>	<p>Meningkatkan kompetensi melalui pelatihan</p> <p>Menyediakan tenaga ahli bidang pengolahan limbah cair</p> <p>Menambah referensi/ literatur terkait proses IPAL</p> <p>Merencanakan perawatan pompa secara berkala setiap bulan</p> <p>Merencanakan perawatan difuser secara berkala</p> <p>Mengganti bahan difuser yang lebih kuat dari plastik</p>	<p>- Difuser stainless (54 pcs)</p> <p>- Pembuatan bak equalisasi</p> <p>- Rencana perawatan pompa dan difuser (3 bulan sekali)</p>	<p>- 35.000/ pcs</p> <p>- 6.500.000</p> <p>- 50.000/ 1 kali</p>	8,590,000	<p>Transfer O<sub>2</sub> lebih merata, usia difuser lebih lama, kinerja pompa optimal, debit limbah cair yang masuk konstan sehingga mengurangi shock loading pada proses lumpur aktif</p>

	Menambah volume bak equalisasi menjadi 8 m <sup>3</sup>				
	Menjaga saluran menuju bak sedimentasi tidak tersumbat dengan melakukan pemeriksaan harian				
	Mengatur debit limbah yang dipompa menuju ke bak lumpur aktif (sesuai debit rata-rata harian (70 m <sup>3</sup> / hari)				
<i>Moderate</i>	Menyediakan suku cadang yang sering mengalami kerusakan	- Impeller pompa - Kumparan motor (angker)	- 315.000/ unit - 2.300.000/ unit	2,615,000	Perbaikan kerusakan pada pompa dapat segera diselesaikan
<i>Low</i>	Memantau efisiensi kinerja pompa dari flow meter	- Reagen COD (A, B) - Reagen NH3	- 2.500.000 - 2.500.000	11,750,000	Memudahkan monitoring debit limbah cair yang masuk ke IPAL, memudahkan memonitor kualitas limbah cair setiap hari
	Melakukan pemantauan internal harian terhadap parameter limbah cair	- Reagen Phosphat - Kertas saring	- 2.500.000 - 1.750.000		
<i>Trivial</i>	Memantau efisiensi kinerja blower	- Rencana perawatan blower (3 bulan sekali) - Rencana perawatan dosing pump (3 bulan sekali)	- 50.000/ 1 kali - 50.000/ 1 kali	400,000	Kinerja blower dan dosing pump optimal, dosis kaporit yang diinjeksikan sesuai sehingga kualitas efluen limbah cair lebih baik
	Merencanakan perawatan blower secara berkala setiap bulan				
	Merencanakan kalibrasi dosing pump setiap 1 tahun sekali (buku manual)				
	Merencanakan perawatan dosing pump secara berkala setiap bulan				

The image displays four architectural drawings of a building structure, likely a bridge or a large industrial building, showing its cross-sections and plan view.

- POTONGAN A-A (Cross-section A-A):** Located at the top left, this section shows a trapezoidal structure with a central opening. It includes dimensions for the top width (100.00), bottom width (100.00), and height (100.00). The section is labeled "POTONGAN A-A" and "SKALA 1 : 50".
- POTONGAN B-B (Cross-section B-B):** Located at the bottom right, this section shows a rectangular structure with a central opening. It includes dimensions for the top width (100.00), bottom width (100.00), and height (100.00). The section is labeled "POTONGAN B-B" and "SKALA 1 : 50".
- POTONGAN C-C (Cross-section C-C):** Located at the top right, this section shows a rectangular structure with a central opening. It includes dimensions for the top width (100.00), bottom width (100.00), and height (100.00). The section is labeled "POTONGAN C-C" and "SKALA 1 : 50".
- DENAH (Plan View):** Located at the bottom left, this drawing shows the overall layout of the structure. It includes dimensions for the overall width (100.00) and height (100.00). The plan view is labeled "DENAH" and "SKALA 1 : 50".

[illegible]

### Foto Penelitian



Bangunan IPAL Lumpur Aktif RSUD Haji Surabaya



Bak Equalisasi



Bak Lumpur Aktif



Bak Sedimentasi (Tube Settler)



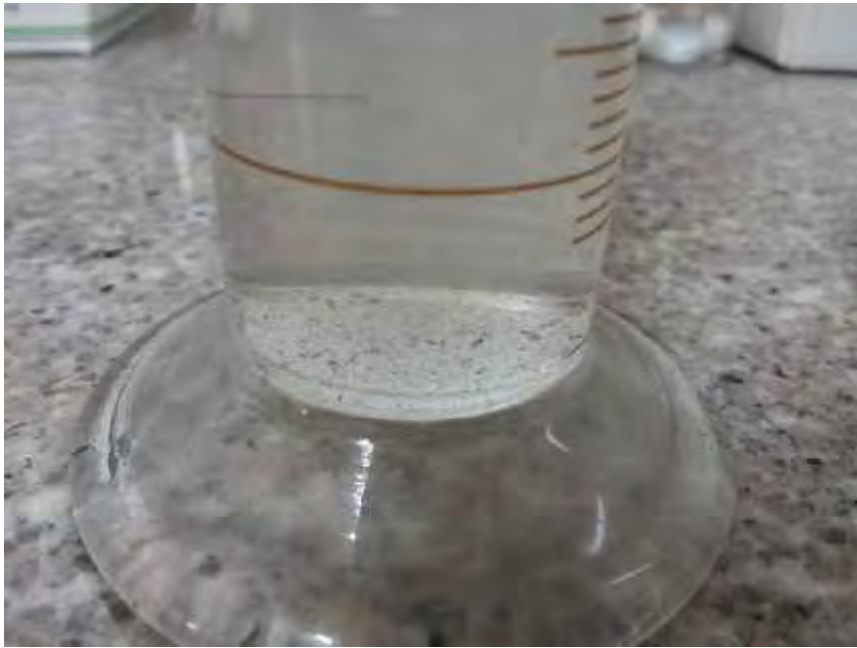


Bak Disinfeksi



Perletakan Difuser





*Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)*



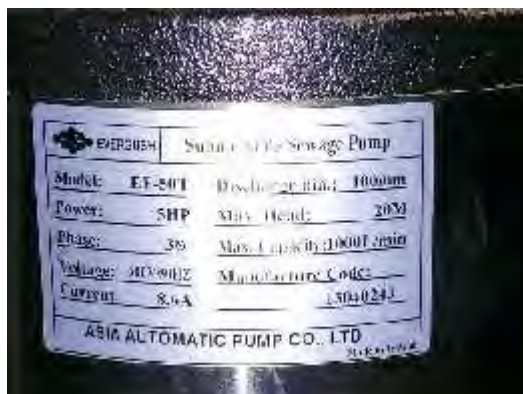
Dosing Pump



Flow Meter Air Limbah



Pompa Inlet (Summersible)



Spesifikasi Pompa Inlet



Spesifikasi Blower



Pengisian Kuisiener oleh Responden

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, D., 2010. Evaluasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit (Studi Kasus RSU Dr. Djasamen Saragih Pematang Siantar). Tugas Akhir Bidang Studi Teknik Sumber Daya Air Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Alamsyah, B., 2007. Pengelolaan Limbah di Rumah Sakit Pupuk Kaltim Bontang untuk Memenuhi Baku Mutu Lingkungan. Tesis Program magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang.
- Anonimous, 1990. Event Probability and Failure Frequency Analysis.
- Apsari, M., 2014. Analisis Risiko dan Optimasi. Tesis Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Clemens P. L., (1993), Fault Tree Analysis 4th edition.
- Crowl DA., Louvar JF., (2002), "Chemical Process Safety Fundamentals with Applications" Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Science 2nd ed.
- Frame, J.D., 2003. Managing Risk In Organizations. Jossey-Bass, San Francisco CA 94103-1741.
- Government of Western Australia, 1999. Guidelines For Managing Risk In The Western Australian Public Sectors.
- Iqbal, M., Terunajaya, 2012. Evaluasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit. Jurnal Purifikasi, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- Kawasaki, K et al. 2011. "*Effect of initial MLSS on operation of submerged membrane activated sludge*"
- Metcalf., Eddy., 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition. Mc Graw Hill.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 3071, (2002), U.S. Department of Labor: <https://www.osha.gov>.
- Perdana R., Yuliawati E., (2014), "*Integrasi Metode FMEA dan Topsis Untuk Menganalisis Risiko Kecelakaan Pada Proses Frame and Fork Welding*" Spektrum Industri, 2014, Vol. 12, No. 1, Jurusan Teknik Industri ITATS Surabaya.

- Prado, T et al. 2011. *Quantification and molecular characterization of enteric viruses detected in effluents from two hospital wastewater treatment plants*. Journal Water Research 45, 1287 – 1297.
- Reynold, T. D., Richard, P. A., 1996. Unit Operations and Process in Environmental Engineering. 2th ed. PWS Publishing Company, Boston.
- Said, N.I., 2008, Pengolahan Air limbah dengan Biakan Tersuspensi. Direktorat Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Simamora, Y., Kurniati, N., 2009. Analisis Resiko Pada Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. Ajinomoto Berdasarkan Konsep Manajemen Resiko Lingkungan. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Standards Australia, 1999. *Risk Management AS/NZS 4360:1999*. Standards Association of Australia, Strathfield NSW.
- Stoklosa, R. 1997. Risk Assessment For Environmental management Of The Marine Environment. The APPEA Journal, 38 (1), 715-723.
- Sumiyati, S., Imaniar, (2007), “*Analisis Kinerja Pengolahan Air Limbah Paviliun Kartika RSPAD Gatot Soebroto Jakarta*” Jurnal Purifikasi Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip.
- Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Nomor : KEP- 58/MENLH/12/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit.
- Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri dan Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur.
- Syaifudin, M., Sugiono., Yuniarti, R., (2014), “*Anallisis Risiko Operasional Pada Divisi Bengkel PT. XYZ Branch Office Malang*” Jurnal Purifikasi Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- US-EPA., 2004. Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems. EPA 832-R-04-001 Washington DC.
- Vesely, B., (2002), “Fault Tree Analysis Concept and Applications” NASA HQ.
- Vesely, et al. 1981. *Fault Tree Handbook*. United States Nuclear Regulatory Commission, Washington DC.
- Wulandari, T., 2011. Analisa Kegagalan Sistem dengan Fault Tree. Skripsi. Program Studi Sarjana Matematika FMIPA Universitas Indonesia.

## BIOGRAFI PENULIS



### Aria Suparmadja

Penulis lahir di Kota Kediri pada tanggal 11 April 1986, merupakan anak pertama dari pasangan Suparmo dan Sri Astutik. Penulis bersama seorang adiknya, Danang Widiyanto, sejak kecil dibesarkan di Kota Surabaya. Penggemar *traveling* ini adalah lulusan Sarjana Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Universitas pembangunan Nasional (UPN) “veteran” Jawa Timur, angkatan Tahun 2005 dan lulus Tahun 2009. Pada masa kecil, penulis menempuh sekolah dasar di SDN Manyar Sabrangan II Surabaya pada tahun 1992 – 1998. Tahun 1998 – 2001 penulis melanjutkan sekolah pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 29 Surabaya. Kemudian pada tahun 2001-2004 melanjutkan pendidikan dengan mengambil program studi Mekanik Otomotif pada sekolah menengah kejuruan PETRA Surabaya. Selama menempuh jenjang S1, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai pengurus bidang infokom dan juga aktif sebagai panitia dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan, selain itu penulis juga aktif dalam organisasi Karang Taruna di kelurahan manyar sabrangan, Surabaya.

Penulis memulai karir ketika lulus dari pendidikan S1 sebagai tim *Safety Health and Environment* (SHE) pada salah satu perusahaan *food and baverage* di Indonesia. Pada tahun 2010 penulis bergabung dengan salah satu perusahaan tekstil di Indonesia dengan posisi Kepala Sub Seksi IPAL dan Utility. Pada tahun 2011 penulis memulai karir dengan bekerja pada instansi pemerintah sebagai Sanitarian pada salah satu rumah sakit milik Pemerintah Provinsi Jawa Timur. Ketertarikannya pada ilmu lingkungan membuat penulis bersemangat melanjutkan studinya sebagai Magister Teknik pada Tahun 2013. Penulis menempuh studi S2 di Program Magister (Pasca Sarjana) Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, dan menyelesaikannya pada Tahun 2015. Saat ini penulis berharap dapat menjadi seseorang yang sukses dan bermanfaat dalam mengelola lingkungan dan kehidupan sekitar hingga masa yang akan datang. Serta dapat menerapkan ilmu dan pengetahuan yang didapat untuk mengabdikan pada pemerintah, khususnya Provinsi Jawa Timur.